MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1878

A PARIS.

RAPPORTS DU JURY INTERNATIONAL.

GROUPE VI. — CLASSE 54.

LES MACHINES ET LES APPAREILS
DE LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE,

PAR

M. HIRSCH,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXIII.

RAPPORT

SUR

LES MACHINES ET LES APPAREILS

DE LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1878

A PARIS.

GROUPE VI. — CLASSE 54.

RAPPORT

SUR

LES MACHINES ET LES APPAREILS DE LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE,

PAR

M. HIRSCH,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXIII.

GROUPE VI. — CLASSE 54.

RAPPORT

SUR

LES MACHINES ET LES APPAREILS

DE LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE.

COMPOSITION DU JURY.

MM. le professeur DAVIDSON (G.), *président*. V. S. Coast Survey, San-Francisco	États-Unis.
ROLLAND, *vice-président*, membre de l'Institut, directeur des manufactures de l'État, membre du comité d'admission à l'Exposition universelle de 1878	France.
HIRSCH, *rapporteur*, ingénieur des ponts et chaussées, professeur à l'École des ponts et chaussées, membre du comité d'admission à l'Exposition universelle de 1878	France.
PÉRISSÉ, *secrétaire*, ingénieur civil, directeur de la Société générale de métallurgie, membre des comités d'admission et d'installation à l'Exposition universelle de 1878	France.
ANDERSON (J.), esq., L. L. D., M. I. C. E	Angleterre.
AUTENHEIMER, directeur du Technicum à Winterthur	Suisse.
COLLIGNON fils, ingénieur en chef des ponts et chaussées	France.
DE COMBEROUSSE, ingénieur, professeur à l'École centrale des arts et manufactures, membre des comités d'admission et d'installation à l'Exposition universelle de 1878	France.
DELLA-VOS, directeur de l'École impériale technique de Moscou.	Russie.
DWELSHAUWERS-DÉRY, professeur à l'Université de Liège	Belgique.
GARGAN, ingénieur civil, constructeur-mécanicien, membre des comités d'admission et d'installation à l'Exposition universelle de 1878	France.
KAPTEYN (A.), ingénieur	Pays-Bas.

Gr. VI. — Cl. 54.	MM. MANTESE (Alessandro), ingénieur en chef du génie civil.....	Italie.
	MÜNTER (A.-B.), gérant de la compagnie des usines de Kockum.	Suède et Norwège.
	MELITON (M.).....	Espagne.
	PEAUCELLIER, lieutenant-colonel du génie, directeur du génie à Toul (Meurthe-et-Moselle), membre du comité d'admission à l'Exposition universelle de 1878.....	France.
	PFAFF (C.), fabricant de machines à Ottakring.....	Autriche-Hongrie.
	RÉSAL, membre de l'Institut, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École polytechnique, membre du comité d'admission à l'Exposition universelle de 1878.....	France.
	ROBINSON (J.), esq., président de la Société des ingénieurs-mécaniciens.....	Angleterre.
	SLOAN JAMES (T.).....	États-Unis.
	BOURDON père, *suppléant*, manufacturier à Paris.....	France.
	HENRY, *suppléant*, capitaine d'état-major, aide de camp du général Chanzy.....	France.
	HOLT (Villiam-Lyster), *suppléant*, ingénieur du chemin de fer *Great-Western*.....	Angleterre.
	JAROLIMECK (E.), *suppléant*, conseiller I. et R. des mines au Ministère de l'agriculture, à Vienne.....	Autriche-Hongrie.
	LECLÈRE, *suppléant*, capitaine d'artillerie, attaché au service des expériences de communications aériennes.....	France.
	LEMMI (E.), *suppléant*, ingénieur.....	Italie.

INTRODUCTION.

Sommaire. — Composition de la classe 54. — Règles suivies dans la rédaction du rapport. — Concours de la théorie et de la pratique. — Divisions du rapport. — Collaborateurs.

En vertu du règlement général de l'Exposition de 1878, les machines et appareils de la mécanique générale ont été classés sous le n° 54, et compris dans le groupe VI, intitulé: Outillage et procédés des industries mécaniques.

Voici, d'après le règlement, la nomenclature des objets attribués à la classe 54 :

Pièces de mécanismes détachées: supports, galets, glissières, excentriques, engrenages, bielles, parallélogrammes et joints, courroies, systèmes funiculaires, etc. Embrayages, déclics, etc. Régulateurs et modérateurs de mouvement.

Appareils de graissage.

Compteurs et enregistreurs. Dynamomètres, manomètres, appareils de pesage. Appareils de jaugeage des liquides et des gaz.

Machines servant à la manœuvre des fardeaux.

Machines hydrauliques élévatoires : norias, pompes, tympans, béliers hydrauliques, etc.

Récepteurs hydrauliques : roues, turbines, machines à colonne d'eau.

Accumulateurs et presses hydrauliques.

Machines motrices à vapeur. Chaudières, générateurs de vapeur et appareils accessoires.

Appareils de condensation des vapeurs.

Machines à vapeur d'éther, de chloroforme, d'ammoniaque, à vapeurs combinées.

Machines à gaz, à air chaud, à air comprimé.

Moteurs électro-magnétiques. Moulins à vent et pananémones. Aérostats.

Gr. VI. — Cl. 54.

Aux objets spécifiés ci-dessus, le jury de la classe a été conduit à ajouter les objets suivants, qui rentrent implicitement dans la nomenclature précédente :

Foyers, fourneaux et cheminées pour chaudières à vapeur, alimentateurs, pyromètres, robinetterie et tuyauterie pour vapeur.

Pompes à vapeur.

Ventilateurs.

Moteurs à ressort, à poids, à pédales.

Transmissions par l'eau ou l'air comprimé.

Calorifuges, tartrifuges, essai des huiles. Essai des matériaux.

Ascenseurs.

Indicateurs de vitesse.

Il a également considéré comme étant de son ressort les sociétés ayant pour objet les *Industries mécaniques*, ainsi que les *Dessins* ou *Mémoires* traitant de la mécanique générale.

Enfin il a eu à s'occuper des récompenses à attribuer aux collaborateurs de quelques-uns des principaux exposants, et des ouvrages de son ressort figurant dans la *Bibliothèque technologique*, qui avait été organisée par le groupe VI.

Nous avons, dans le présent rapport, à rendre compte de l'exposition de la classe 54 et à résumer les opérations du jury.

L'esprit qui doit présider à la rédaction de ce document a été nettement indiqué par M. Jules Simon, dans une réunion des rapporteurs des jurys de classe [1] :

« Les rapports qui ont pu être faits pour l'attribution des récompenses ont un caractère confidentiel, et ne pourraient être publiés sans risque de blesser ou de léser des intérêts; ils ont du reste une forme toute spéciale, et ne présenteraient pas une utilité réelle, au point de vue de l'étude élevée des progrès de l'activité industrielle.

« Le public veut, avant tout, posséder des indications sur les différentes branches des arts, de l'industrie, de l'agriculture,

[1] Séance du 9 décembre 1878. Les lignes qui suivent sont extraites du procès-verbal de la séance.

afin de s'efforcer de conserver ou d'atteindre le niveau constaté par le jury, de maintenir ou d'élever sa supériorité. L'étude qui est entreprise a donc pour objet de faciliter le progrès; sans se refuser à citer des noms qui le personnifient, elle doit avant tout avoir souci des intérêts généraux. » Gr. VI. — Cl. 54.

Le travail du rapporteur se trouve ainsi clairement défini. Il n'est nullement ici question de décrire un à un tous les objets exposés : une pareille description serait non seulement aride et ingrate, mais encore sans utilité sérieuse; nous n'avons pas davantage à justifier les décisions prises par le jury. La tâche à remplir est plus élevée, mais aussi bien plus délicate.

Il s'agit de saisir et de mettre en lumière les points les plus saillants de l'Exposition, ceux qui jalonnent, pour ainsi dire, le progrès; de résumer les impressions qui se sont manifestées parmi les jurés, dans les nombreuses et consciencieuses visites auxquelles ils se sont livrés; de les condenser en un tableau général et fidèle, donnant une idée exacte de l'industrie des machines telle qu'elle se présentait à l'Exposition; de comparer l'état actuel de cette industrie avec la situation qu'elle occupait il y a quelques années; de tirer de cette comparaison la mesure des progrès accomplis, et de rechercher, s'il se peut, dans quelle voie doivent être poursuivis les progrès ultérieurs.

Il ne sera pas hors de propos d'indiquer sommairement dans quel ordre d'idées nous avons essayé de remplir ce vaste et difficile programme.

Les machines jouent à notre époque un rôle tellement considérable, leur influence sur la société moderne est tellement capitale, le nombre des industries qu'elles mettent en jeu et des industries dont elles dérivent est tellement grand, qu'un rapport complet sur la mécanique générale devrait embrasser, à la rigueur, l'ensemble de notre organisation sociale. Nous n'avons pas, bien entendu, essayé de parcourir une carrière aussi étendue. Mais le tableau que nous avons à présenter serait par trop incomplet, si nous nous étions borné à étudier les mécanismes en eux-mêmes, en

Gr. VI. — Cl. 54.

tant qu'objets matériels, en faisant abstraction de tous les facteurs qui sont entrés dans leur conception et dans leur exécution. De ces facteurs, il y en a quelques-uns qui exercent une influence si immédiate et si manifeste sur l'industrie des machines, qu'il n'est pas permis de les passer sous silence.

La construction et l'usage des machines sont dominés par un fait de la plus grande généralité, à savoir : le concours permanent de la théorie et de la pratique. Tout problème de mécanique appliquée se compose de deux problèmes distincts, l'un d'un ordre purement scientifique, l'autre d'un ordre exclusivement industriel.

Que l'on embrasse par la pensée tous les mécanismes qui encombraient l'Exposition, tous ceux même qui ont existé depuis l'origine des sociétés, on retrouvera dans tous et toujours cette association constante : d'une part, l'idée mathématique, qui a conçu le problème, qui a mesuré les forces mises en jeu et les résistances surmontées, proportionné les organes et réglé les rapports de leurs mouvements ; d'autre part, la main de l'ouvrier, qui a choisi les matériaux, les a travaillés, ajustés, réunis, assouplis et assujettis à obéir aux mouvements assignés.

Ce double caractère se manifeste de la manière la plus frappante dans les mécanismes modernes. La théorie et la pratique ne cessent de s'y coudoyer et de s'entr'aider. Chaque invention nouvelle dans l'ordre matériel provoque de nouvelles investigations scientifiques, qui ne manquent pas à leur tour de donner naissance à des applications multipliées.

Ainsi les questions scientifiques ont pris de nos jours une importance en rapport avec celle des applications de la mécanique. Non seulement les dimensions et les proportions de tous les organes sont calculées par des formules plus ou moins précises, mais souvent aussi les études de machines donnent lieu à des recherches mathématiques de l'ordre le plus élevé. Les ingénieurs font appel à toutes les ressources de l'analyse, aux méthodes les plus exactes et les plus délicates de la physique et de la chimie. Les grandes usines de construction sont accompagnées de laboratoires, aussi richement et bien plus puissamment outillés en instruments de précision que la plupart de ceux de nos savants.

L'habitude de la rigueur minutieuse dans les relevés de mesures s'est propagée dans les ateliers; le cathétomètre au centième de millimètre, le spectroscope, les thermomètres les plus délicats, sont mis entre les mains des contremaîtres, qui en font un usage journalier et, ne craignons pas de le dire, excellent. Gr. VI. — Cl. 54.

C'est en France surtout, le pays de Descartes, de Pascal et de Regnault, que s'est rapidement propagé cet usage courant des calculs géométriques, des mesures rigoureuses, de l'application des théories scientifiques aux phénomènes dont les machines industrielles sont le siège. Mais, chaque jour et de plus en plus, les constructeurs et ingénieurs des autres pays s'engagent dans cette voie, et l'Exposition en montrait de magnifiques exemples.

Il n'est donc pas possible, en parlant des machines, de faire abstraction de la théorie: les progrès de la mécanique appliquée suivent côte à côte ceux de la mécanique physique et rationnelle; ils sont inséparables et réagissent perpétuellement les uns sur les autres.

Nous serons ainsi souvent amené, en retraçant l'état actuel de l'industrie des machines, à rechercher dans les études théoriques les véritables origines des progrès réalisés. Mais nous bornerons à des indications sommaires et rapides ces incursions sur un domaine latéral au nôtre.

Les matières traitées dans le présent rapport ont été réparties en chapitres et sections de chapitre, de la manière suivante:

Gr. VI. — Cl. 54.

CHAP. V. Machines motrices diverses.
- Section I. Machines à air chaud, à gaz, etc.
- Section II. Moteurs électriques et autres.

CHAP. VI. Machines hydrauliques.
- Section I. Machines hydrauliques élévatoires.
- Section II. Récepteurs hydrauliques.
- Section III. Accumulateurs et presses hydrauliques.
- Section IV. Appareils hydrauliques divers.

CHAP. VII. Air comprimé ou en mouvement.

CHAP. VIII. Transmission du travail.
- Section I. Courroies, systèmes funiculaires.
- Section II. Engrenages, embrayages, déclics.
- Section III. Transmissions diverses.
- Section IV. Appareils de graissage, joints.

CHAP. IX. Machines servant à la manœuvre des fardeaux.

CHAP. X. Mesure du travail et de la force.
- Section I. Appareils de pesage.
- Section II. Dynamomètres, compteurs, indicateurs, etc.

CHAP. XI. Pièces de mécanisme détachées.

CHAP. XII. Objets divers ne rentrant pas dans les catégories précédentes.

CHAP. XIII. Questions générales et résumé.

Nous nous sommes attaché, dans le présent rapport, à traduire, aussi fidèlement que possible, la pensée manifestée par le jury de la classe 54. Au moment d'en commencer la rédaction, nous avons soumis, à ceux de MM. les Jurés qui étaient présents à Paris, un programme général des idées que nous comptions émettre, et de l'ordre dans lequel elles seraient classées. Ce programme a été examiné et discuté dans une réunion amicale, et, à cette occasion, nous avons cru pouvoir demander l'aide et l'assistance de ceux de nos collègues qui possédaient une compétence spéciale sur certaines des matières à traiter. Ce concours ne nous a pas fait défaut. Quelques-uns ont bien voulu nous aider de leurs conseils; d'autres n'ont pas reculé devant un travail considérable, pour nous fournir des notes écrites, qui nous ont été d'un puissant secours.

Qu'il nous soit permis ici d'exprimer notre plus vive reconnaissance à ces collaborateurs dévoués et désintéressés.

M. Périssé nous a donné un travail très étendu et des plus remarquables sur les chaudières et les foyers; Gr. VI. — Cl. 54.

MM. Collignon et Henry ont rédigé presque en entier notre chapitre sur les appareils hydrauliques;

MM. Bourdon et Gargan nous ont communiqué des renseignements d'un grand intérêt sur les accessoires de chaudières, et sur la situation actuelle de l'industrie des machines.

Nous aurions vivement désiré laisser intactes ces excellentes rédactions, et les insérer textuellement avec les noms de leurs auteurs; mais les dispositions adoptées dans la réunion des rapporteurs du 9 décembre 1878 étaient formelles: il a été dit que le *rapporteur officiel serait l'éditeur responsable de l'ensemble du rapport, alors même que ses collaborateurs seraient choisis parmi les membres du jury.* Il nous a donc fallu, à notre grand regret, retoucher les notes qui nous étaient remises, afin de les relier aux autres parties du rapport, et de nous les approprier d'une manière plus complète.

CHAPITRE PREMIER.

RÉSUMÉ DES OPÉRATIONS DU JURY.

Sommaire. — Ordre suivi dans les travaux du jury de la classe 54. — Division du jury en trois sections. — Visites générales. — Visites officielles. — Mode de procéder. — Coefficients de mérite. — Classement des exposants. — Limites de la compétence du jury. — Déclassements. — Relations avec les jurys des classes voisines. — Une seule récompense par exposant. — Question des inventeurs. — Exposants ouvriers. — Collaborateurs. — Bibliothèque technologique. — Exposants hors concours. — Rappels de récompenses. — Nombre de récompenses attribuées. — Vœu émis pour l'organisation d'expériences. — Relations personnelles entre les membres du jury.

Le jury a été réuni pour la première fois le 13 juin 1878; c'est dans cette séance qu'il a constitué son bureau.

Dès le lendemain 14 juin, le jury se réunissait de nouveau, pour procéder à l'organisation de la lourde tâche qui lui incombait.

En raison du nombre considérable d'exposants et d'appareils à visiter, et du court espace de temps dans lequel devaient se terminer les opérations, il fut reconnu indispensable de diviser le travail, et de partager le jury en trois sections, opérant simultanément.

Chaque section avait à examiner plus particulièrement une série d'objets exposés, se rapportant à une branche déterminée de l'art du mécanicien; les jurés se répartirent entre ces trois sections suivant leur compétence spéciale.

Les membres du bureau ne furent attachés à aucune des sections; chacun d'eux accompagnait, dans les visites, l'une ou l'autre de ces sections, suivant les besoins; chaque juré d'ailleurs avait le même droit, et pouvait, s'il le jugeait convenable, pour certaines visites l'intéressant plus particulièrement, se détacher de la section dont il faisait partie, et s'adjoindre à une section voisine, ou même procéder isolément à des visites particulières.

Chaque section désignait son président et son secrétaire-rapporteur.

Gr. VI. — Cl. 54.

Les sections étaient chargées de préparer des propositions, qui étaient ensuite discutées en séance générale du jury, et faisaient l'objet d'un vote, auquel tous les jurés prenaient part.

Ainsi le jury confiait à ses membres les plus compétents l'examen préparatoire de chaque affaire, et la décision n'était prise qu'en assemblée plénière. Par ce mode de procéder, on imprimait au travail la rapidité indispensable, sans enlever aux décisions aucune des garanties résultant d'une discussion générale, à laquelle chacun des jurés apportait ses lumières.

Sous les réserves qui viennent d'être énoncées, la répartition entre les sections fut opérée comme il suit :

Section A. *Appareils à vapeur.* — Chaudières, générateurs de vapeur, avec appareils accessoires. — Appareils de condensation des vapeurs. — Machines à vapeur d'éther, de chloroforme, à vapeurs combinées. — Machines à gaz, à air chaud, à air comprimé, et autres appareils se rattachant aux précédents.

Cette section était composée comme il suit:

M. Gargan, *président;*

M. Münter, *secrétaire-rapporteur;*

MM. Anderson, de Comberousse, Della-Vos, Dwelshauwers-Déry, Robinson et Sloan, *membres.*

Section B. *Appareils hydrauliques.* — Machines hydrauliques élévatoires, norias, pompes, tympans, béliers hydrauliques, etc. — Récepteurs hydrauliques, roues, turbines, machines à colonne d'eau. — Accumulateurs, presses hydrauliques et autres objets analogues.

La section B était composée comme il suit:

M. Autenheimer, *président;*

M. Collignon, *secrétaire-rapporteur;*

MM. Kapteyn et Mantese, *membres.*

Section C. *Divers.* — Tous les objets ressortissant à la classe 54, et non dévolus à l'une des sections précédentes.

La section C était composée comme il suit:

M. Résal, *président;*
M. Pfaff, *secrétaire-rapporteur ;*
MM. Meliton-Martin et Peaucellier, *membres.*

MM. les Jurés supplémentaires s'adjoignaient à l'une ou à l'autre des sections, ou assistaient aux séances générales, suivant les besoins.

Cette organisation fut arrêtée le 14 juin.

Dès le lendemain 15, le jury, toutes sections réunies, procédait à une reconnaissance générale de l'exposition de la classe 54, afin de se rendre compte, par une vue d'ensemble, de la disposition des locaux, des principaux objets à étudier, de la valeur comparée des diverses expositions, et pour fixer d'une manière plus précise le degré de mérite que devait représenter chaque coefficient.

Enfin, après ces travaux préparatoires, le 17 juin, à 9 heures du matin, le jury commençait ses visites officielles par l'exposition anglaise, le commissariat britannique l'ayant informé que les exposants anglais étaient prévenus en temps utile de la visite du jury, et demandaient qu'elle ne fût pas ajournée.

Du 13 juin, jour de la constitution de son bureau, au 24 juillet, date de la clôture de ses opérations, le jury a tenu vingt-sept séances plénières, et n'a interrompu ses travaux que les dimanches et jours fériés.

Voici quelle était en général la manière de procéder :

Les sections se réunissaient à 9 heures du matin, quelquefois plus tôt, suivant les cas, pour procéder aux visites, qui se prolongeaient le plus souvent jusqu'à midi ou 1 heure.

A 2 heures, le jury s'assemblait, en séance plénière, dans un des bureaux attenant à la bibliothèque du groupe VI. La parole était donnée successivement aux secrétaires-rapporteurs des trois sections, pour présenter les propositions des sections; ces propositions étaient discutées; puis on allait aux voix. Les rapports des sections étant épuisés, on arrêtait l'ordre du jour du len-

Gr. VI. — Cl. 54.

demain, et l'ordre des visites à faire ultérieurement. Ces séances se prolongeaient d'ordinaire jusqu'à 6 ou 7 heures du soir.

Lorsqu'il y avait urgence de ne pas interrompre les visites, elles avaient lieu matin et soir. Il en est résulté que le nombre des jours de visite a été notablement supérieur à celui des séances plénières.

Conformément aux termes du règlement, les exposants étaient toujours prévenus cinq jours au moins à l'avance de la visite du jury. Il n'y a eu d'exception à cette règle que pour la section anglaise, sur le désir formel exprimé par l'intermédiaire du commissariat britannique.

La visite des exposants d'une ou plusieurs nations une fois terminée, on faisait une revision, pour s'assurer qu'aucun exposant n'avait été omis. Enfin les opérations du jury se sont terminées par une série de visites générales dans toute l'exposition des machines, visites dans lesquelles on a examiné les objets signalés tardivement au jury, ou renvoyés des classes voisines, et précisé, par un examen d'ensemble, les valeurs relatives des divers coefficients de mérite.

Ces coefficients, compris entre 0 et 20, correspondent, dans les propositions faites au jury de groupe, aux récompenses suivantes :

20 et 19, grands prix :
18 et 17, médailles d'or;
16 et 15, médailles d'argent;
14 et 13, médailles de bronze;
12 et 11, mentions honorables;
De 10 à 0, pas de récompense.

Une fois les exposants groupés d'après le coefficient qui leur était attribué, plusieurs séances ont été consacrées, sur la demande du jury de groupe, à les classer par ordre de mérite, tâche difficile et délicate, surtout lorsqu'il s'agit de comparer entre eux des objets extrêmement dissemblables.

Il n'est pas très commode, par exemple, dans une classification

par ordre de mérite, d'intercaler exactement à son rang un fabricant de courroies, au milieu de constructeurs de locomobiles, ou une machine à air chaud parmi des ascenseurs. Le jury a consacré de longues heures à établir le mieux possible cette classification, qui, heureusement, n'a eu aucune influence sur la répartition des récompenses, les propositions faites par le jury de classe ayant été intégralement admises par le jury de groupe. Gr. VI. — Cl. 54.

En dehors des difficultés techniques qui lui étaient soumises, le jury a rencontré, dans le cours de ses travaux, un certain nombre de questions de différentes natures, telles qu'il s'en présente toujours dans les opérations analogues; la solution était quelquefois assez délicate, et a donné lieu à des discussions fort approfondies. Grâce au sentiment élevé d'équité qui animait tous les membres du jury, grâce aussi au concours amical des jurys supérieurs, avec lesquels on n'a cessé de marcher en parfait accord, ces questions ont toutes reçu des solutions satisfaisantes.

La première question qui s'est présentée a été celle de la compétence du jury.

Devait-on s'en tenir purement et simplement aux catalogues officiels, examiner tous les objets inscrits à ces catalogues sous la rubrique de la classe 54, et écarter tous ceux qui étaient portés aux autres classes? Cette manière de procéder eût simplifié dans une large mesure la besogne du jury; mais, dès les premières visites, il devint évident qu'elle était impraticable, sous peine de violer à chaque instant les principes les plus élémentaires de l'équité.

On ne pouvait s'attendre à ce que la répartition des exposants entre les différentes classes eût été faite d'une manière parfaitement uniforme par les diverses nations qui figuraient à l'Exposition. D'autre part, les catalogues n'avaient pu être établis que sur les déclarations des exposants, ce qui devait nécessairement entraîner des erreurs dans l'attribution des classes. Le jury s'aperçut bientôt qu'un nombre assez considérable d'exposants, inscrits à la classe 54, devaient être reportés aux classes voisines, et réciproquement. La publication de nouvelles éditions des catalogues

Gr. VI. — Cl. 54.

de plusieurs nations vint démontrer, d'une manière palpable, combien cette manière de voir était juste; car on y trouva un nombre notable d'exposants portés à d'autres classes que dans les catalogues primitifs.

Il fut en conséquence décidé que tout objet, même attribué par les catalogues à la classe 54, et qui ne rentrerait pas dans la nomenclature de cette classe donnée par le règlement général de l'Exposition, serait déclassé.

Avis de ce déclassement était donné par lettre au président du jury de groupe, ainsi qu'aux commissaires de l'Exposition.

De même, après avis, le jury de la classe saisissait dans les classes voisines tout ce qui rentrait sous sa compétence, et s'en emparait pour porter son jugement. Pour éviter les omissions, les commissariats étaient priés de signaler au jury les objets qui rentraient dans le ressort de la classe 54.

C'est ainsi qu'un grand nombre de déclassements ont été opérés. Le jury avait eu soin de déclarer qu'il n'entendait pas accepter la responsabilité des omissions ou des fausses attributions des catalogues; mais, en fait, ces opérations de déclassement ont été conduites avec assez de soin et de régularité, pour qu'on puisse affirmer qu'aucune exposition notable, ressortissant à la mécanique générale, n'a échappé à l'examen.

Si bien établies que puissent être les nomenclatures, il existe toujours, près de la frontière qui sépare deux classes voisines, des objets qui peuvent être attribués presque indifféremment à l'une ou à l'autre. Citons, par exemple : les locomobiles agricoles, qui ne diffèrent que fort peu des locomobiles ordinaires; les pompes à incendie à vapeur, qui ont bien des points communs avec les pompes à vapeur en général, lesquelles rentrent évidemment dans la classe 54; les machines d'extraction et d'épuisement des mines, qui sont en tout semblables aux machines à vapeur fixes, sauf leur application spéciale.

Parfois la situation est autre : certains objets ont franchement un pied dans deux classes différentes; ils sont dénommés explicitement, dans les catalogues, à la mécanique générale et dans une

autre classe quelquefois fort éloignée. Le fait s'est reproduit plusieurs fois, et il ressort de la nature des choses, de l'extension, chaque jour plus rapide, des machines dans les diverses industries. Ainsi les locomotives sont bien certainement des machines à vapeur, et à ce titre elles devraient être rattachées à la classe 54; d'autre part il est impossible de les détacher des chemins de fer (classe 64); il en est de même des machines marines, qui figurent à la classe 67 (navigation et sauvetage), des marteaux à vapeur, classe 55 (machines-outils), etc.

Il est certain que si l'on eût voulu faire rentrer tous les mécanismes dans la classe 54, la majeure partie de l'Exposition eût été placée sous sa juridiction. La chose était à prévoir et devait inévitablement se présenter.

Il a été coupé court à ces difficultés par la décision suivante, qui a défini avec précision les limites entre les diverses compétences :

« Tout objet exposé dénommé explicitement à la classification officielle dans une classe autre que la classe 54 était attribué à cette classe. Lorsqu'un mécanisme était établi en vue de desservir une industrie déterminée, et ne pouvait faire service dans la généralité des industries, il était également attribué à la classe à laquelle ressortissait l'industrie spéciale. »

C'est ainsi que les locomotives, machines marines, marteaux à vapeur, les machines d'extraction et d'épuisement des mines, les pompes à incendie à vapeur, etc., n'ont pas été examinés par le jury de la classe 54. Quant aux locomobiles dites *agricoles*, qui ne diffèrent des autres locomobiles que par quelques détails accessoires dans leurs dispositions, et peuvent être appliquées, telles quelles et sans changement, à toute autre industrie que l'agriculture, elles tombaient tout naturellement dans le domaine de la mécanique générale; mais chaque fois qu'un même bâti portait à la fois la locomobile et un outil spécialement agricole, ce qui s'est présenté, par exemple, pour certaines batteuses à vapeur, de telle sorte que le moteur et l'opérateur ne formassent qu'un tout indivisible, l'ensemble était considéré comme constituant une machine agricole, et adjugé, comme tel, à la classe 52.

Gr. VI. — Cl. 54.

Grâce à cette jurisprudence, établie dès l'origine et fidèlement respectée, il ne s'est élevé, entre les jurys opérant côte à côte, aucun de ces conflits dont les expositions précédentes ont offert quelques exemples.

Il est même arrivé parfois que les jurys de certaines classes, ayant à examiner des appareils dans lesquels la partie mécanique jouait un rôle important, ont fait appel aux lumières de nos collègues. Il n'est pas besoin de dire que cet appel a été entendu, et que le jury de la classe 54 s'est empressé, chaque fois qu'il en a été requis, de communiquer ses appréciations sur tel mécanisme qu'on voulait bien lui soumettre. Quelques demandes analogues ont été présentées par des exposants; mais le jury ne pouvait se permettre d'empiéter ainsi, sans y être officiellement invité, sur le terrain réservé aux jurys des classes voisines; il a donc dû décliner les demandes de cette nature, quel que fût d'ailleurs, au point de vue de la mécanique, l'intérêt des expositions sur lesquelles on appelait son attention.

D'autres difficultés se sont présentées dans le cours des travaux; mentionnons les plus importantes, avec les solutions qu'elles ont reçues.

Un grand nombre d'exposants présentaient plusieurs appareils, souvent de valeurs fort inégales. Fallait-il attribuer à chacun de ces appareils une récompense spéciale? Cela eût allongé hors de toute proportion la liste des récompenses. Ce qui fait le mérite d'un exposant, ce n'est pas la multiplicité des objets qu'il expose, mais bien l'excellence de ses produits. N'en présentât-il qu'un seul de qualité exceptionnelle, qu'il est digne d'une récompense élevée. Ainsi l'a pensé le jury. Il a décidé que chaque exposant ne pourrait avoir qu'une seule récompense, et que ce serait la plus élevée de toutes celles auxquelles il aurait droit, eu égard aux divers objets qu'il exposait. Cependant, lorsque, dans une même exposition, on trouvait plusieurs objets méritant une même récompense, et formant un tout, un ensemble d'une valeur particulière, on n'hésitait pas à donner, au besoin, à cet ensemble un coefficient plus élevé que celui qu'eût mérité chacun des objets, s'il eût été isolé.

Quant à la question des inventeurs, elle a soulevé de vives controverses, et n'a été résolue qu'après le plus sérieux examen. Gr. VI. — Cl. 54.

Le jury a rencontré des inventions sérieuses, utiles, ingénieuses, portant tous les caractères du véritable progrès. Il va de soi que, pour des expositions de cette nature, il n'était pas avare de ses récompenses, trop heureux de reconnaître le mérite élevé du véritable inventeur, au milieu des rêveries ou des théories mal digérées qui s'étalaient au Champ de Mars, quoique en moins grand nombre peut-être qu'on n'eût pu s'y attendre.

Il arrivait quelquefois que l'invention était présentée, non par l'inventeur lui-même, mais par le constructeur qui l'avait réalisée. Souvent le constructeur, qui rend pratique une idée nouvelle, a un mérite aussi grand, a dû dépenser autant de travail, de recherches, d'ingéniosité que celui dans le cerveau duquel elle est née à l'état d'embryon; et alors le droit à la récompense lui est légitimement acquis. Mais que dire des cas, assez nombreux, où le constructeur ne joue qu'un rôle secondaire, et n'a eu d'autre mérite que d'exécuter d'après les plans et sous la direction de l'inventeur ? Que dire surtout lorsqu'un appareil nouveau, imaginé par l'un, construit par l'autre, est colporté et vendu par un troisième, lequel n'a fait autre chose que le métier ordinaire de négociant, et qui vient cependant présenter cet appareil sur le terrain qu'il occupe, et qui porte sa propre enseigne? Son mérite est souvent bien mince. Faudra-t-il lui attribuer la récompense à laquelle aurait droit l'appareil? Faudra-t-il passer par-dessus sa tête et aller récompenser l'inventeur?

En pareil cas, il ne saurait y avoir de doute : c'est l'inventeur seul qui a tout le mérite, c'est lui seul qui doit être récompensé, mais à une condition essentielle, c'est qu'il soit exposant. Lorsqu'une personne, inventeur ou autre, n'a pas présenté de demande d'admission, lorsqu'elle a refusé de prendre sa part à ce grand concours qui va s'ouvrir, le jury a-t-il le droit d'aller scruter les motifs de cette abstention, et d'imposer d'office une récompense à celui qui s'est dérobé, à celui dont les œuvres ne sont arrivées à la connaissance des jurés que par une voie indirecte, et sans qu'il ait donné l'autorisation de les produire? Ici, non plus, il ne peut pas y avoir

Gr. VI. — Cl. 54.

de doute, et l'inventeur non exposant ne doit pas recevoir de récompense.

Néanmoins l'application de ces principes est délicate. Les véritables inventeurs, ceux qui ouvrent au progrès une voie nouvelle et inexplorée, qui dévoilent des richesses inconnues, ceux-là sont rares, et leur valeur est grande. Ce n'est donc qu'avec les plus sérieuses précautions, après une enquête minutieuse, que le jury s'est décidé à appliquer la sévérité de la jurisprudence établie. En pareil cas, on s'entourait de renseignements circonstanciés, pris auprès des commissaires, de l'Administration, des exposants; et quand l'inventeur devait être considéré, soit comme exposant, soit comme collaborateur d'un exposant, on n'hésitait pas à lui attribuer une récompense en rapport avec le mérite de son invention. Mais il est arrivé plus d'une fois qu'après enquête, certains inventeurs se sont trouvés ne satisfaire à aucune de ces conditions; et alors le jury s'est vu, bien à regret, obligé de passer sous silence des appareils nouveaux et fort intéressants, et de donner simplement au constructeur ou au vendeur exposant la note qu'ils méritaient chacun dans son genre.

Si le jury a dû accepter ce sacrifice, parfois pénible, nous ne sommes pas tenu, dans le présent rapport, d'observer les mêmes règles, et nous n'avons aucune raison de taire les noms des inventeurs, qu'ils aient été ou non exposants; l'étude des inventions et des dispositions nouvelles est une source féconde d'enseignements, et nous n'aurons garde de les négliger.

A propos des inventions, il n'est pas inutile de faire remarquer ici que les questions de priorité ne tombaient nullement sous la compétence du jury. Il a eu soin de les écarter avec persistance, malgré quelques réclamations. Les litiges de cette nature, d'ordinaire fort difficiles à trancher, sont l'affaire des tribunaux et non pas d'un jury de récompenses. On ne s'est écarté de cette règle que dans les cas de notoriété incontestable.

Le jury s'est efforcé, cela va de soi, de tenir la balance parfaitement égale entre tous les exposants; mais il a rencontré quelques machines exposées par de simples ouvriers, qui les avaient conçues,

dessinées et exécutées de leurs propres mains, à l'aide d'outils parfois très rudimentaires. Ici le mérite de l'objet exposé s'augmente de toutes les difficultés vaincues. Le jury s'est rappelé que Watt a été, dans sa jeunesse, un humble et pauvre opticien, et que la plupart des grands ateliers de construction ont été fondés par de simples ouvriers; sans se départir de son impartialité, il a pensé qu'en pareil cas la part ne devait pas être mesurée trop étroitement, et que des encouragements un peu larges n'étaient qu'une récompense toute légitime.

Gr. VI. — Cl. 54.

Les collaborateurs des exposants ont été admis à la répartition des récompenses, lorsqu'ils étaient dûment déclarés par les exposants principaux; leurs titres ont d'ailleurs été examinés et discutés avec le soin que le jury a apporté dans toutes ses opérations.

Le groupe VI avait organisé dans le Parc, du côté de l'École militaire, une Bibliothèque technologique, composée d'ouvrages relatifs aux industries mécaniques, et à la composition de laquelle un grand nombre d'excellents écrivains et praticiens avaient concouru. Cette Bibliothèque, toute garnie de documents du plus grand intérêt, résumait pour ainsi dire l'ensemble des idées qui avaient présidé à l'exécution des machines figurant dans les galeries du Palais. Le jury de la classe 54 a examiné les ouvrages de cette Bibliothèque se rapportant à la mécanique générale, et proposé des récompenses pour les meilleurs de ces ouvrages.

En vertu du règlement et de la jurisprudence établie par les jurys supérieurs, un certain nombre d'exposants ont été déclarés hors concours; en principe, le jury de la classe 54 s'est récusé chaque fois qu'un exposant était appelé, à un degré quelconque, à concourir à l'attribution des récompenses auxquelles il pouvait lui-même participer. C'est ainsi qu'ont été mis hors concours :

Les membres du jury de la classe 54;

Les présidents et rapporteurs des jurys de classe du groupe VI, comme faisant partie du jury de groupe.

Les exposants hors concours ne pouvaient recevoir aucune récompense, et échappaient à l'examen du jury.

Gr. VI. — Cl. 54.

Nous aurons occasion, dans le présent rapport, de citer quelques appareils remarquables, dont les auteurs, étant hors concours, ne figurent pas sur les listes de récompenses.

Il est certains cas, assez rares, que ne pouvait prévoir aucun règlement, et pour lesquels le jury a été obligé de faire lui-même sa jurisprudence.

Quelques hommes, éminents par les services qu'ils ont rendus à la société, ont rencontré, dans le cours de leurs travaux, des dispositions mécaniques nouvelles; ne voulant pas garder pour eux seuls ce qui peut être utile à tout le monde, ils ont envoyé à l'Exposition des modèles, des dessins, sans aucun but industriel, sans prétendre à aucune récompense. Ces appareils, trouvés accidentellement sur le chemin de recherches considérables, et livrés tels quels au public, convenait-il de les classer au même rang que les autres produits figurant à l'Exposition, et qui concouraient pour les récompenses? Était-il convenable d'attribuer à leurs auteurs une médaille? Le jury ne l'a pas jugé ainsi. Après avoir étudié, avec tout l'intérêt qu'ils méritent, ces mécanismes remarquables, résumant parfois les plus hautes investigations scientifiques, il a cru que ses sentiments devaient se traduire par de simples remerciements pour l'honneur fait à la classe 54, et a chargé son bureau de les exprimer par une lettre adressée à l'exposant.

Plusieurs des maisons les plus importantes avaient déjà reçu aux expositions précédentes des récompenses élevées. Lorsque les mêmes maisons méritaient, en 1878, les récompenses déjà obtenues à l'Exposition de 1867, ce sont ordinairement des rappels de médaille qui leur ont été attribués.

Telles sont les considérations principales qui ont guidé le jury dans les décisions qu'il avait à prendre. Les propositions de récompenses qu'il a formulées en conséquence ont été soumises au jury du groupe VI, qui les a examinées à son tour, les a sanctionnées de sa haute autorité et rendues ainsi définitives.

Les chiffres ci-après indiquent le nombre des récompenses de chaque espèce qui ont été décernées aux exposants de la classe 54.

RÉPARTITION DES RÉCOMPENSES.

DÉSIGNATION DES RÉCOMPENSES.	France.	Gde-Bretagne.	États-Unis.	Belgique.	Autriche-Hongrie.	Italie.	Suisse.	Suède.	Norwège.	Russie.	Portugal.	Espagne.	Danemark.	Pays-Bas.	République Argentine.	Grèce.	Égypte.	Chine.	Pérou.	TOTAUX.
Diplôme d'honneur équivalent à une grande médaille.	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Grandes médailles	5	1	1	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	10
Rappel de grande médaille	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Médailles d'or	27	10	4	2	2	1	3	2	»	2	»	1	»	1	»	»	»	»	»	55
Rappels de médailles d'or	6	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	7
Médailles d'argent	70	18	7	5	6	2	1	2	3	2	»	»	1	»	»	»	1	»	»	118
Rappels de médailles d'argent	12	2	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	15
Médailles de bronze	115	27	5	11	8	4	2	3	»	1	»	3	3	1	»	1	»	»	»	184
Mentions honorables	116	19	9	6	5	5	2	2	3	2	»	2	2	2	2	»	»	1	»	178
TOTAUX pour les exposants	352	79	26	24	22	12	11	9	6	7	»	6	6	4	2	1	1	1	»	569
COLLABORATEURS.																				
Diplôme équivalent à une médaille d'or	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Médailles d'argent	4	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6
Médailles de bronze	9	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	11
Mention honorable	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
TOTAUX pour les collaborateurs	13	»	»	»	1	»	4	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	19
TOTAUX GÉNÉRAUX	365	79	26	24	23	12	15	9	6	8	»	6	6	4	2	1	1	1	»	588
Nombre total d'exposants (non compris ceux de la Bibliothèque technologique ni les collaborateurs).	436	106	38	41	26	15	13	10	7	9	1	7	8	8	3	2	2	1	2	735*

* Y compris 2 exposants hors concours.

Gr. VI. — Cl. 54.

A l'Exposition de 1867, le nombre des exposants pour machines et appareils de la mécanique générale (classes 52 et 53) était de 636, et les récompenses ont été réparties comme il suit :

Grands prix	2
Médailles d'or	19
Médailles d'argent	107
Médailles de bronze	130
Mentions honorables	128
TOTAL	386

Il faut remarquer, à propos de ces chiffres, que le nombre 735 est celui des exposants admis, et non pas celui des demandes d'admission. Le comité d'admission, prévoyant combien la place serait étroitement mesurée, avait rejeté toutes les demandes ne présentant pas un intérêt réel; et la proportion des demandeurs ainsi évincés a été fort notable.

Dans le cours de ses opérations, le jury a plus d'une fois regretté de ne pouvoir obtenir des exposants des explications complètes, des documents authentiques, qui lui permissent d'asseoir son jugement avec une parfaite sécurité.

Il est surtout une lacune sur laquelle son attention s'est portée à plusieurs reprises, c'est le défaut d'expériences exactes et bien contrôlées. Une machine peut être correctement conçue, bien dessinée, bien exécutée; ce sont là, certes, des éléments sérieux d'appréciation. Et cependant, tant que l'essai pratique de l'appareil n'a pas été fait, il plane toujours quelque incertitude sur sa véritable valeur. Il n'était pas possible au jury de procéder lui-même à des expériences sur les machines qui lui étaient soumises; la rapidité imposée à ses opérations s'y opposait absolument. Dans quelques cas, on a tenté de faire des essais comparatifs entre des machines de même nature; mais ces expériences ne sauraient être entreprises sans des préparatifs indispensables, qui demandent du temps et beaucoup de bon vouloir de la part des exposants; or rien n'était préparé pour les faire, et, de guerre lasse, il a fallu y renoncer.

La question est particulièrement intéressante pour les machines motrices à vapeur, à air chaud, à gaz, électro-magnétiques, etc., ainsi que pour les générateurs et foyers. Il y a encore, dans le fonctionnement de ces appareils, bien des points douteux et obscurs; différents dispositifs sont en présence, qui se disputent la prééminence, au nom d'idées théoriques plus ou moins exactes. Jamais occasion plus belle ne s'était présentée pour élucider toutes ces questions et résoudre tous ces problèmes, d'un si grand intérêt pour les progrès de la mécanique. L'Exposition présentait, à ce point de vue, un magnifique champ d'investigations; on y voyait réunis pour la première fois les systèmes les plus variés, les plus récents, exécutés de la manière la plus parfaite. Des expériences comparatives, pratiquées par un même personnel, sous une direction unique, avec des instruments et des méthodes uniformes, auraient présenté des garanties que l'on ne rencontre pas, à beaucoup près, au même degré dans les essais isolés faits de temps à autre dans les ateliers. Mais, pour être efficace, l'exécution d'un pareil programme devait être préparée longtemps à l'avance : ce n'est pas d'un jour à l'autre qu'on improvise des expérimentateurs, des méthodes et des instruments.

Le jury a recommandé ces considérations aux organisateurs des expositions futures, et exprimé le vœu formel que, si jamais pareille occasion se présentait de procurer à la science des constructions les données certaines dont elle a si grand besoin, on prît à l'avance toutes les mesures nécessaires pour ne pas la laisser échapper.

Qu'on nous permette, en terminant ce résumé des opérations du jury, d'indiquer rapidement l'esprit qui présidait à ses délibérations, de retracer pour ainsi dire la physionomie de ces intéressants débats.

Lorsque, le jour de la première séance, ces étrangers, venus des quatre coins du globe, parlant des langues différentes, se trouvèrent brusquement réunis, une certaine réserve régnait dans cette assemblée, dont les membres étaient, pour la plupart, inconnus les uns aux autres. Mais, dès les premières discussions,

Gr. VI. — Cl. 54.

chacun reconnut bien vite chez tous ses collègues un sentiment de haute équité, d'impartialité parfaite, devant lequel disparaissaient même les petites rivalités de nation à nation qui pouvaient être à craindre. Bientôt la réserve des premiers jours fit place à une entière confiance.

La glace était rompue : à l'estime réciproque, que chaque séance venait accroître, succéda bientôt une affection sincère. Chaque matin, on aimait à se retrouver avec ceux qu'on avait quittés la veille. On se mettait au travail ; chaque section visitait les exposants qui lui étaient attribués, les observations étaient échangées, des notes prises consciencieusement.

Après un déjeuner pris en commun, et où régnait la franche cordialité d'amis qui se reposent ensemble de travaux souvent fort pénibles, arrivait la séance générale de l'après-midi. La discussion était ouverte ; elle était toujours élevée, fort vive parfois, jamais aigre ni amère. Que d'idées originales ! Que d'aperçus nouveaux ! Quelle science profonde ! Quelle connaissance complète du métier et des ressources de l'ingénieur ! Les plus jeunes écoutaient avidement cet admirable enseignement, donné avec tant de franchise et de bonne foi. Parfois la voix de notre vénéré président s'élevait pour ramener aux affaires, toujours urgentes, les débats qui prenaient une tournure un peu théorique. On allait aux voix, et le vote de chacun était respecté comme l'expression d'une conviction sincère et raisonnée. Le souvenir de ces belles séances a laissé à tous une impression profonde et durable.

Quand l'heure de la séparation est venue, c'est avec le plus vif regret que chacun serrait la main de celui qui partait ; on s'est promis de s'écrire, et, chose assez rare, on s'est tenu parole !

Que nos collègues étrangers veuillent bien agréer le souvenir cordial que ceux qui sont restés leur envoient du fond du cœur ! Que tous les jurés de la classe 54 daignent accepter le témoignage profondément ému de la reconnaissance de leur rapporteur, dont leur précieuse entente a rendu le travail plus facile, et qu'ils ont bien voulu traiter comme on traite un ami !

CHAPITRE II.

ENSEMBLE DE LA CLASSE 54.

Sommaire. — Objet du chapitre. — Nombre d'exposants répartis par catégories. — Nombre d'exposants par nationalités.

Dispositions topographiques de la classe 54. — Emplacements occupés. — France. — Étranger. — Palais. — Parc. — Annexes.

Service mécanique de l'Exposition. — Ensemble du service. — Machines motrices. — Générateurs de vapeur. — Transmissions. — Usines hydrauliques élévatoires. — Données numériques sur le service.

Aspect général de la classe.

Nous allons, dans le présent chapitre, jeter un coup d'œil d'ensemble sur l'exposition de la classe 54, indiquer sa composition générale, les emplacements qu'elle occupait au Champ de Mars, en un mot, en retracer les traits principaux.

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, la classe 54 se composait de 735 exposants, non compris les collaborateurs ni les exposants de la Bibliothèque technologique. Dans le tableau ci-dessous, nous avons divisé les exposants en catégories, d'après la nature des objets qu'ils présentaient; chaque exposant a été placé dans la catégorie affectée à l'objet le plus important de son exposition.

Générateurs de vapeur :		
Chaudières, fourneaux, foyers, etc.	66	152
Accessoires de chaudières, manomètres, etc.	86	
Machines à vapeur :		
Machines fixes, appareils de distribution, de condensation, etc.	128	255
Locomobiles et mi-fixes	82	
Pompes à vapeur	23	
Régulateurs et modérateurs	22	
A reporter		407

Gr. VI. — Cl. 54.

Report		407
Machines motrices diverses :		
Machines à air chaud, à gaz, etc.	17	32
Moteurs électriques, à ressorts, à poids, etc.	15	
Machines hydrauliques :		
Machines élévatoires	91	158
Récepteurs	31	
Accumulateurs, presses	8	
Appareils hydrauliques divers	28	
Air comprimé ou en mouvement		24
Transmission du travail :		
Courroies, systèmes funiculaires	47	71
Engrenages, embrayages, etc.	24	
Appareils de graissage, joints, etc.		59
Machines servant à la manœuvre des fardeaux		52
Mesure du travail et de la force :		
Appareils de pesage	31	52
Dynamomètres, compteurs, indicateurs	21	
Pièces de mécanisme détachées		12
Objets divers		31
Total		898
Bibliothèque technologique		75

Ce chiffre de 898 est notablement supérieur à celui des exposants; c'est qu'en effet un certain nombre de maisons exposaient à la fois, dans des catégories différentes, des produits également importants : chaudières et machines motrices, machines fixes et locomobiles, etc.

D'autre part, une pareille énumération ne saurait avoir une rigueur mathématique, il ne faut y voir qu'une simple indication sommaire et générale.

Ce sont les appareils à vapeur, avec le chiffre de 407 exposants, qui occupent la plus large place; parmi ceux-ci, les machines fixes

ont une importance considérable (128 exposants); les appareils de distribution surtout présentaient une extrême variété.

Après les appareils à vapeur, viennent les appareils hydrauliques (157 exposants); le chiffre de 91 exposants pour les machines hydrauliques élévatoires ne doit pas faire illusion sur l'importance de cette exposition; il comprend un grand nombre de constructeurs d'articles courants n'offrant rien d'exceptionnellement remarquable.

Les appareils de transmission (71 exposants) comprennent des courroies.

Les machines à air chaud et à gaz (17 exposants), quoiqu'en petit nombre, ont vivement attiré l'attention. Les appareils de pesage (31 exposants) et ceux qui servent à la manœuvre des fardeaux (52) offraient des spécimens fort remarquables.

Le tableau suivant indique le nombre d'exposants dans chaque nation, comparé au nombre correspondant à l'Exposition de 1867 [1].

	1878.	1867.
France	436	296
Grande-Bretagne	98	96
États-Unis	38	38
Belgique	41	49
Autriche	23	24
Hongrie	3	
Italie	15	33
Suisse	13	6
Suède	10	8
Norwège	7	
Russie	9	11
Espagne	7	12
Danemark	8	1
Pays-Bas	8	5
République Argentine	3	»
A reporter	719	579

[1] En 1867, les classes 52 et 53 correspondaient à la classe 54 de l'Exposition de 1878.

		1878.	1867.
Gr. VI. — Cl. 54.	Report	719	579
	Grèce	2	1
	Égypte	2	2
	Chine	1	//
	Canada	7	//
	Victoria	1	//
	Portugal	1	2
	Pérou	2	//
	Allemagne	//	40
	Principauté roumaine	//	8
	Républiques américaines	//	1
	Brésil	//	3
	Total	735	636
	Bibliothèque technologique	75	

Les nombres portés dans ce tableau à la colonne de 1878 ne comprennent pas les exposants rentrant dans l'une des catégories suivantes :

Les collaborateurs d'exposants;

Les exposants portés aux catalogues comme ressortissant à la classe 54, et que le jury a déclassés et renvoyés à une autre classe;

Les exposants dont les produits ne figuraient pas dans les galeries, ou n'existaient qu'à l'état incomplet au moment de la visite du jury, soit que ces exposants eussent renoncé aux droits que leur conférait leur admission, soit que leurs produits n'aient pas été installés en temps utile.

Par contre, on a compté comme exposants dans la classe 54 ceux que les catalogues portaient à d'autres classes, et que le jury de la classe 54 a saisis comme ressortissant à la mécanique générale.

On a vu par ce qui précède de quelle variété infinie d'objets divers était composée la classe 54. De cette variété même, et de différentes causes qui seront indiquées plus bas, il est résulté que l'exposition de la mécanique générale s'est trouvée dispersée à peu près dans tous les coins de l'enceinte du Champ de Mars et du

Trocadéro. Rappelons-en rapidement les dispositions topographiques, en commençant par la section française. Gr. VI. — Cl. 54.

Pour bien comprendre ce qui va suivre, il convient de retracer en quelques lignes le plan d'ensemble de l'Exposition universelle. Cette Exposition comprenait d'abord deux grands palais, celui du Champ de Mars et celui du Trocadéro, se faisant vis-à-vis sur les deux rives de la Seine, entourés et réunis par un vaste parc, parsemé d'un grand nombre d'annexes et de constructions diverses.

Le palais du Champ-de-Mars, immense rectangle d'une longueur de 700 mètres sur 160 mètres de façade, était bordé sur ses deux côtés par deux grandes galeries, dites *des Machines*, de 650 mètres de longueur sur 35^{m},60 de largeur chacune.

C'est dans ces belles galeries que, dans l'esprit des organisateurs, devaient être réunies les industries se servant de procédés mécaniques.

On se rappelle quelle extension considérable et inattendue prit soudain le programme de l'Exposition universelle vers la fin de 1877. Le palais du Champ de Mars était établi sur un plan d'une extrême ampleur; ses proportions, comparées à celles adoptées dans les expositions précédentes, étaient assez vastes pour satisfaire, au moins devait-on le croire, à tous les besoins. Les emplacements réservés aux machines étaient notamment de fort belles dimensions, et semblaient devoir être largement suffisants. Mais au dernier moment les demandes d'admission affluèrent avec une abondance hors de proportion avec tout ce qu'on avait pu prévoir, et il fallut prendre rapidement des mesures efficaces pour ne pas être submergé par ce flot envahissant.

Voici celles qui furent adoptées en ce qui concerne l'exposition de la classe 54.

En France, le comité d'admission se montra fort sévère; il repoussa toutes les demandes mal justifiées; il restreignit dans une large mesure les emplacements réclamés par les exposants admis, et mesura les espaces accordés avec une extrême parcimonie. Néanmoins, il fut bientôt évident que les machines occuperaient une superficie beaucoup plus grande que celle qu'on avait prévue; on dut procéder à la hâte à de nouvelles constructions.

Gr. VI. — Cl. 54.

C'est ainsi qu'en dehors de la grande galerie des machines, comprise dans le périmètre du Palais, on fut conduit à élever une galerie annexe le long de l'avenue de la Bourdonnaye, et une autre sur la berge de la Seine, contiguë au quai d'Orsay. Les emplacements réservés en France à la classe 54 ont été dès lors les suivants :

Dans la grande galerie des machines, l'espace occupé s'étendait dans toute la largeur de la galerie, soit 35^{m},60 et sur une longueur de 130 mètres. La superficie effective affectée aux exposants, déduction faite des passages livrés au public, était composée de ce groupe central de 2,500 mètres carrés (chiffre rond), et des emplacements occupés par les machines motrices en divers points de la galerie, soit en tout 3,000 mètres carrés. Dans l'annexe de l'avenue de la Bourdonnaye, la superficie réelle attribuée à la classe 54 était de 1,700 mètres carrés, et dans l'annexe de la berge, de 800 mètres carrés; la superficie totale effective était donc de 5,500 mètres carrés, non compris les superficies occupées en différents points des parcs.

La répartition des objets exposés entre ces divers emplacements a été établie de la manière suivante.

Dans la grande galerie, on a disposé toutes les pièces qui, par leur éclat, leurs formes ou la beauté de leurs proportions, devaient contribuer à la décoration de ce magnifique vaisseau; c'est là qu'ont été placés les machines à vapeur, à gaz et électriques, quelques belles installations hydrauliques ne devant pas fonctionner, les accumulateurs, les presses, les ascenseurs, les machines à essayer les métaux, etc.; puis les petits objets en cuivre ou en acier poli, manomètres, robinets régulateurs, pièces de mécanisme, etc., qui, arrangés avec goût, peuvent donner des motifs de décoration; des dessins et de belles courroies formaient tentures le long des parois.

On a réservé pour l'annexe de l'avenue de la Bourdonnaye, moins fréquentée par les curieux, mais visitée avec non moins d'intérêt que le Palais par le public instruit et compétent, les objets moins brillants : les chaudières, les locomobiles, les foyers, bascules, grues, etc., tous ces serviteurs indispensables de l'industrie, forts et grossiers d'aspect, mais très dignes d'être étudiés.

Enfin les pompes et appareils hydrauliques en activité, mettant en mouvement des masses d'eau considérables, étaient disposés sur la berge de la Seine.

Cette répartition a été suivie fidèlement, et il n'y a été admis que quelques rares exceptions, pour des expositions qu'il eût été impossible de scinder sans de graves inconvénients.

Dans les sections étrangères, l'ordonnance était différente et variait d'une nation à l'autre, suivant les besoins divers et l'importance relative de la mécanique générale comparée aux autres expositions. Ici encore les emplacements primitivement prévus furent bientôt insuffisants.

Il fallut créer une série d'annexes, quelques-unes de fort grandes dimensions, qui furent établies dans le parc, le long de la galerie des machines. C'est en partie dans la galerie des machines, en partie dans les annexes, que furent répartis les objets se rattachant à la mécanique générale, dans un ordre moins rigoureux, cela va sans dire, que pour la section française; pour plusieurs nations, les mécanismes ressortissant à la classe 54 étaient plus ou moins intercalés au milieu d'industries différentes, de sorte qu'il serait bien difficile de supputer, même par à peu près, les superficies occupées.

En dehors des groupes principaux de mécanismes que nous venons de passer en revue, un assez grand nombre d'appareils étaient dispersés dans le parc ou dans les pavillons particuliers, suivant les exigences spéciales qui avaient présidé à leur installation. Tel était le cas des grandes et puissantes grues qui ont servi à la manipulation des colis et aux déballages, et dont la hauteur était trop grande pour qu'on pût les admettre dans l'annexe des machines. Il en était de même des moulins à vent, de certains appareils hydrauliques, des mécanismes de l'Égypte et de l'Algérie, de la machine solaire, des ascenseurs du Trocadéro, etc.

La classe 54 comprenait, en outre, toute une catégorie d'objets du plus haut intérêt, dont l'emplacement était absolument imposé, en dehors de toute répartition préconçue, par le service même qu'ils avaient à faire. Nous voulons parler des générateurs

Gr. VI. — Cl. 54.

en feu, des machines à vapeur en activité, des conduites d'eau et de vapeur, des transmissions de force motrice, de tous ces appareils qui distribuaient dans l'Exposition le mouvement et la vie.

Cette question considérable du service mécanique de l'Exposition rentrait dans les attributions de l'Administration, qui devait mettre à la disposition des exposants l'eau, la vapeur et la force motrice dont ils avaient besoin. Toutefois, les machines et les organes affectés à cette destination étaient considérés comme objets exposés; la plupart d'entre eux durent être examinés par le jury de la classe 54. Il ne sera donc pas hors de propos de donner ici quelques indications sur cet important service [1].

Il comportait, comme objets ressortissant à la mécanique générale, des machines à vapeur motrices, des générateurs en feu, avec conduites de vapeur, des transmissions et une distribution d'eau.

Au même service se rattachaient, en outre, les ascenseurs qui desservaient les tours du palais du Trocadéro.

En ce qui concerne la force motrice, le système général qui, sur la proposition du comité consultatif nommé à cet effet, fut adopté par l'Administration, peut se résumer comme il suit :

Après examen comparatif des diverses propositions en présence, il fut admis en principe que la puissance motrice à distribuer aux exposants serait demandée uniquement à la vapeur d'eau, et qu'elle serait répartie entre un certain nombre de machines à vapeur, installées, suivant les besoins, en différents points de l'Exposition. La puissance, ainsi créée, devait être communiquée à des arbres de couche, sur lesquels les exposants avaient à prendre le mouvement, au moyen de poulies et de courroies.

Quant à la vapeur nécessaire, tant aux machines du service mécanique qu'aux autres machines à vapeur et aux appareils divers, on décida d'en confier la fabrication à plusieurs usines différentes. Par mesure de prudence, la présence de foyers en activité dans le Palais était interdite; ces usines productrices de la vapeur furent donc établies dans le parc et dans les annexes, et

(1) La plus grande partie de ces indications sont tirées d'un rapport de M. Debize, ingénieur attaché au service mécanique de l'Exposition universelle.

installées dans les emplacements les plus convenables pour que les conduites de vapeur n'eussent pas un développement exagéré.

La distribution d'eau, en tant que systèmes de conduites, de vannes, d'égouts, etc., ressortissait au génie civil. Mais la partie mécanique, c'est-à-dire les usines élévatoires, tombait sous la compétence de la classe 54. Les eaux étaient fournies, pour une partie, par la canalisation générale de la ville de Paris, sur laquelle venait se brancher la canalisation spéciale de l'Exposition; le surplus était pris dans la Seine, au moyen de pompes à vapeur.

Arrivons maintenant aux emplacements occupés.

Les **Machines motrices** étaient réparties comme il suit :

Section française. — *Galerie des machines.* 20 machines fixes ou mi-fixes, distribuées sur toute la longueur de la galerie, généralement par groupes de deux machines se faisant vis-à-vis, chacune actionnant une portion de l'un des deux arbres de couche parallèles qui couraient le long de cette galerie; quatre de ces machines étaient installées sur l'emplacement affecté à la mécanique générale.

Annexe de l'avenue de la Bourdonnaye : 8 locomobiles ou mi-fixes, toutes en dehors de l'enceinte de la classe 54.

Annexe des pompes : 2 locomobiles.

Annexe de la navigation : 1 locomobile.

Sections étrangères. — 10 machines fixes dans la galerie des machines, savoir :

Angleterre	1 machine.
États-Unis	1
Suède et Norwège	1
Espagne	1
Autriche-Hongrie	2 machines.
Suisse	2
Belgique	2

Les chiffres qui précèdent se rapportent uniquement aux ma-

Gr. VI. — Cl. 54.

chines actionnant les transmissions générales; il y avait encore un grand nombre de machines à vapeur, de machines à gaz, de machines à air chaud en mouvement, travaillant à vide, ou actionnant directement, soit des outils, soit des usines industrielles; citons, par exemple, les puissantes machines de Powel et de Farcot, qui marchaient à vide, les machines fixes qui commandaient la fabrique de papier dans l'annexe (classe 60), la boulangerie et la fabrique de glace installées dans le parc du côté de l'École militaire; la machine à gaz qui faisait tourner les meules de la diamanterie dans la galerie du travail manuel, etc.

Les **Usines pour la fabrication de la vapeur** étaient réparties ainsi qu'il suit :

Section française. — Dans le parc, entre le Palais et l'annexe de l'avenue de la Bourdonnaye, cinq groupes de chaudières fixes avaient été installés, et l'étude de ces usines offrait d'autant plus d'intérêt qu'elles contenaient toutes des chaudières de systèmes fort différents, représentant les types de générateurs les plus en faveur dans l'industrie moderne. Ces cinq groupes avaient été établis chacun par un exposant, et étaient constitués par treize corps de chaudières.

Dans les annexes, six chaudières tubulaires ou de formes locomobiles.

Sections étrangères. — Cinq usines, une dans chacun des pays suivants : Angleterre, États-Unis, Autriche-Hongrie, Suisse, Belgique, les usines de ces deux derniers pays étant contiguës et ne formant qu'un groupe. Le nombre des exposants était de 8, et celui des corps de chaudières, de 11.

Dans l'énumération qui précède, nous n'avons pas compté les chaudières desservant les pompes à vapeur du quai de Billy, non plus que celles des ascenseurs du Trocadéro.

Les **Transmissions** étaient constituées par des arbres en fer, animés d'un mouvement de rotation, actionnés par les machines motrices, et communiquant la puissance par poulies et courroies.

Dans la grande galerie française des machines, deux arbres pareils couraient sur toute la longueur, interrompus seulement au droit des grands passages; ils étaient supportés par un double portique de colonnes de fonte, à la fois élégant et robuste, sous lequel les visiteurs pouvaient circuler à l'aise.

Dans les annexes, les supports de transmission étaient plus simples d'aspect; mais, sauf un ou deux passages, où la transmission était souterraine, l'arbre de couche était généralement disposé au-dessus du sol, à une hauteur suffisante pour ne pas gêner la circulation.

La fourniture des arbres et paliers de transmission a été faite, dans la section française, par 21 exposants, et dans les sections étrangères, par 3 exposants, en ne tenant pas compte des transmissions secondaires.

Pour terminer cette revision des services mécaniques de l'Exposition de 1878, mentionnons les installations suivantes :

Usines hydrauliques élévatoires. — Deux usines élévatoires complètes avaient été établies sur la rive droite de la Seine. Elles comprenaient chacune un système complet de générateurs, de machines motrices, de pompes et de conduites, et puisaient les eaux de la Seine pour les envoyer dans toutes les parties des palais et des parcs.

Ascenseurs. — Dans chacune des tours du Trocadéro, le commissariat avait fait construire un immense ascenseur hydraulique, qui élevait d'un seul jet cinquante personnes à la fois du sol du Palais à la plate-forme supérieure des tours; ces appareils remarquables, sur lesquels nous aurons à revenir avec détails, ont été l'un des grands attraits des visiteurs.

Voici quelques données numériques sur les divers services qui viennent d'être passés en revue; dans le tableau de la page suivante, les chiffres sont placés en regard de ceux de l'Exposition universelle de 1867 :

Gr. VI.
—
Cl. 54.

DÉSIGNATION.	1878. FRANCE.	1878. ÉTRANGER.	1878. TOTAUX.	1867. TOTAUX.
Machines motrices.				
Nombre de machines.....	31 (1)	10 (1)	41 (1)	52
Puissance totale en chevaux en allure moyenne.....	1,747	786	2,533	854
Générateurs de vapeur.				
Nombre de groupes de chaudières.....	11	5	16	»
Nombre d'exposants.....	11	8 (2)	19	32
Nombre de corps de chaudières.....	19	11	30	45
Surface de chauffe totale...	1,662^{m2}	1,116^{m2}	2,778^{m2}	»
Production totale moyenne par jour (kilogr. de vap^{r}).	144,180^{k}	75,270^{k}	219,450^{k}	»
Production totale pendant la durée de l'Exposition (kilogrammes de vapeur)...	kilogr. 25,925,000	kilogr. 13,548,000	kilogr. 39,473,000	»
Transmission.				
Nombre de fournisseurs....	21	3 (3)	24	»
Longueur cumulée des arbres de couche.....	1,590^{m}	586^{m}	2,176^{m}	792^{m}

(1) Les machines à deux cylindres sont comptées pour une seule machine.
(2) Sur lesquels 2 exposants français.
(3) Dont 2 français.

SERVICE HYDRAULIQUE.

1878. 2 usines élévatoires d'environ 500 chevaux-vapeur.

1867. *Service des eaux :* 7 machines à vapeur d'une puissance totale de 325 ch^{x}.
Ventilation : 3 machines à vapeur d'une puissance totale de 100 chevaux.

Deux faits principaux ressortent immédiatement de ce tableau : d'une part, la force motrice consommée par les exposants a augmenté dans une proportion considérable : de 854 chevaux, en 1867, elle est passée à 2,533 chevaux en 1878 ; c'est un accroissement du simple au triple. D'autre part, le nombre des machines

motrices a diminué notablement : de 52 il est tombé à 41. La puissance moyenne de chaque machine s'est élevée de 16,05 chevaux à 62 chevaux.

Quant à la transmission, sa longueur en 1867 était de 792 mètres; elle portait 1,08 cheval par mètre courant. En 1878, la longueur est de 2,176 mètres, et la transmission travaille, un peu plus activement, à raison de 1,16 cheval par mètre courant; mais ce surcroît est dû principalement à l'influence des sections étrangères, qui donnent le chiffre de 1,33 cheval par mètre de transmission, chiffre élevé, résultant surtout de la rapidité d'allure de l'arbre de couche dans certaines sections.

Les faits constatés au sujet de la force motrice sont également vrais pour les chaudières. Les installations des générateurs, à l'Exposition de 1878, étaient faites sur une échelle vraiment grandiose : la surface de chauffe par corps de chaudière ressort à une moyenne de 92 mètres carrés; c'est là un chiffre fort considérable, qui représente la puissance des plus grandes chaudières de l'industrie.

Ce caractère de grandeur, que nous venons de constater dans l'installation du service mécanique, se retrouvait d'ailleurs au plus haut degré dans l'ensemble de l'exposition de la mécanique générale, et tous les visiteurs en étaient vivement frappés. Les galeries étaient moins ornées, moins brillantes à la vue que dans les expositions précédentes; l'aspect était plus sérieux, plus sévère. Mais ces grands appareils, harmonieusement disposés, sobres de décoration, produisaient l'impression la plus profonde. Dans leurs lignes générales, aussi bien que dans le détail de leurs organes, portant l'empreinte d'une conception sûre et hardie, et en même temps d'une étude attentive et d'une exécution soigneuse, on sentait la maturité d'une industrie féconde dans son plein épanouissement.

CHAPITRE III[1].

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR.

SECTION I.

GÉNÉRALITÉS.

Sommaire. — Objet et division.

État actuel de la théorie des chaudières. — Travaux de Regnault. — Travaux de Mulhouse. — Transmission de la chaleur. — Différentes parties de la surface de chauffe. — Influence de l'état des surfaces et autres causes. — Réchauffeurs d'eau d'alimentation. — Répartition de la chaleur. — Rendement pratique des générateurs. — Réservoir d'eau. — Réservoir de vapeur. — Eau entraînée. — Pressions en usage. — Vapeur surchauffée.

Applications pratiques. — Dispositions des chaudières. — Alimentation. — Corrosions et incrustations. — Qualités des eaux. — Nettoyages.

Progrès récents. — Ensemble des chaudières exposées. — Matériaux. — Tôles. — Formes et résistance des parois. — Tôle d'acier. — Rivures. — Soudures.

Principaux défauts des chaudières.

Le présent chapitre a pour objet l'étude de la production de la vapeur pour la mise en mouvement des machines motrices.

La question des générateurs de vapeur est si importante et si délicate, elle se présente sous des aspects si multiples, qu'il serait impossible de la traiter ici d'une manière complète. Mais quoiqu'il ne s'agisse que d'en esquisser les traits principaux, il convient, pour mettre un peu d'ordre dans cet examen sommaire, d'y introduire quelques divisions.

Dans la première section de ce chapitre, nous rappellerons les principes généraux qui dominent aujourd'hui dans la construction et la conduite des chaudières; puis, nous indiquerons comment ces principes s'appliquent dans la pratique journalière.

[1] Le présent chapitre a été en partie rédigé d'après les notes très développées dues à l'obligeance de M. Périssé, membre du jury. Dans les sections 1, 2 et 3 notamment, nous avons reproduit, par pages entières, le texte même de ces notes.

Gr. VI. — Cl. 54.

La deuxième section comprend une revue rapide des expositions de chaudières les plus remarquables qui ont appelé l'attention du jury.

La troisième section contient l'examen des accessoires de chaudières, soupapes, tubes de niveau, manomètres, etc.

La quatrième est réservée aux foyers, fourneaux, grilles et cheminées.

La théorie de la production de la vapeur a fait dans ces dernières années des progrès notables; elle a surtout gagné beaucoup en précision. Cependant elle présente encore bien des points obscurs ou douteux. Résumons l'état actuel de cette question importante.

Les données physiques les plus précises que l'on possède aujourd'hui sur la vapeur d'eau sont dues aux magnifiques travaux de Regnault. L'illustre expérimentateur se rendait nettement compte de la haute importance de ses recherches. Pour lui, il s'agissait, non pas seulement de satisfaire aux besoins immédiats de l'industrie, mais aussi de poser une fondation définitive aux progrès ultérieurs de la science; et cette tâche immense, il l'a accomplie avec un soin, une conscience, une exactitude admirables. Après trente années écoulées, son travail est resté debout tout entier, et toutes les expériences faites depuis n'ont fait qu'affirmer la confiance absolue qu'il mérite. Les tables des pressions, des densités, des chaleurs des vapeurs et des liquides, établies par Regnault, sont consultées chaque fois qu'il s'agit d'avoir des chiffres sûrs; l'usage en est devenu vulgaire, et tous les constructeurs les ont entre les mains. Et, phénomène scientifique bien remarquable, ces mêmes tables, déjà anciennes, ont été la base solide sur laquelle s'est élevée la théorie mécanique de la chaleur, science toute moderne, qui était à peine soupçonnée à l'époque où Regnault fit ses expériences.

La voie ouverte par le savant physicien a été suivie avec succès par les habiles expérimentateurs de la Société industrielle de Mulhouse. Les recherches auxquelles ils se sont livrés, avec une

suite dans les idées et une persévérance dignes d'éloges, ont un caractère plus pratique, moins abstrait, pour ainsi dire, que celles de Regnault. Il s'agissait, pour la Société, de définir les conditions industrielles de la production de la vapeur; ces expériences, prolongées souvent pendant plusieurs semaines, ont jeté une vive lumière sur les phénomènes dont les chaudières à vapeur sont le siège; ces phénomènes ont été observés, analysés, disséqués pour ainsi dire. Il y a eu là, dans les dix dernières années, un progrès considérable accompli. Et peut-être n'est-ce là que le moindre mérite de ces belles études: elles ont rendu à l'industrie un service plus signalé encore, en vulgarisant l'usage des méthodes d'investigation exactes, en introduisant dans l'usine les procédés de l'expérimentation scientifique. Un grand nombre d'ateliers sont aujourd'hui de vrais laboratoires; on y relève des observations journalières et précises, et on les enregistre méthodiquement; et cette masse de renseignements, qui se contrôlent les uns par les autres, élucide de jour en jour la question si complexe de la production de la vapeur.

Un des points les plus délicats et les plus obscurs est le phénomène de la transmission de la chaleur à travers les parois métalliques. Le combustible incandescent, les flammes et les gaz chauds de la combustion communiquent à la tôle, par rayonnement et par contact, de la chaleur qui s'incorpore au métal, se propage par conductibilité à travers son épaisseur, et finalement est transmise à l'eau de la chaudière. On sait aujourd'hui que, dans ce trajet compliqué, le principal obstacle au passage de la chaleur se trouve à la surface extérieure de la tôle; qu'au contraire la chaleur passe sans grande difficulté de la tôle à l'eau, et surtout à travers le métal; de sorte que, dans les cas ordinaires, la paroi métallique tout entière se trouve à une température qui ne diffère pas beaucoup de celle de l'eau qu'elle renferme, mais qui est de beaucoup inférieure à celle des gaz chauds, avec lesquels elle est en contact par sa face extérieure. Il résulte de là que l'épaisseur et la conductibilité plus ou moins grandes du métal ne jouent qu'un rôle tout à fait secondaire.

Gr. VI. — Cl. 54.

Ces notions sont devenues vulgaires, et l'on ne voit plus se reproduire les tentatives faites quelquefois pour améliorer la transmission de la chaleur, en amincissant les parois, ou en substituant le cuivre au fer, comme meilleur conducteur.

La quantité de chaleur transmise dépend donc avant tout de l'état des surfaces de la tôle, et de l'écart des températures de l'eau et des gaz qui la baignent sur ses deux faces. Près du foyer, cet écart est considérable, les gaz étant à la température de la combustion; à mesure qu'il s'éloigne du foyer, le courant gazeux se refroidit, en cédant sa chaleur à la chaudière; de sorte que les parties les plus rapprochées de la cheminée n'ont plus qu'une efficacité fort restreinte. Ces faits ont été d'ailleurs constatés par des expériences directes, qui ont mis nettement en relief l'énorme différence de puissance de vaporisation qui existe entre les deux extrémités du parcours des flammes.

Dans les cas ordinaires, quand le combustible doit être économisé, on prolonge la surface de chauffe, de manière à ne laisser échapper les gaz qu'à une température assez basse. On arrive ainsi à une très faible production unitaire: 10 à 15 kilogrammes de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe. Lorsqu'au contraire les questions de légèreté, de faible emplacement prennent le dessus, les constructeurs n'hésitent pas à supprimer les dernières parties de la surface de chauffe, et à porter la production unitaire à 20, 25 et même 40 kilogrammes et plus, comme dans les locomotives, sans cesser, grâce à un entretien plus soigné, d'avoir un rendement satisfaisant du combustible.

L'entretien plus ou moins parfait des générateurs a en effet une importance considérable au point de vue de la transmission de la chaleur. Si la chaleur passe assez difficilement des gaz chauds de la flamme et de la fumée à la tôle de la chaudière, cette difficulté est augmentée dans une proportion énorme par les dépôts de suie et de cendres; si bien qu'une chaudière malpropre cesse de produire. Le défaut de nettoyage intérieur est peut-être plus grave encore; la tôle ne prend la température de

l'eau qu'à la condition d'être débarrassée de dépôts et de tartre; sinon la chaleur se transmet mal au liquide, la tôle s'échauffe, elle peut même rougir et céder à la pression. Cette influence du bon entretien sur la puissance, l'économie et la sécurité des générateurs n'est pas appréciée toujours comme elle mériterait de l'être; cependant des progrès notables ont été faits depuis quelques années, et ils sont dus en partie aux efforts des *Associations de propriétaires d'appareils à vapeur,* sur lesquelles nous aurons à revenir.

Parmi les circonstances qui semblent faciliter la transmission de la chaleur, il convient de citer les courants rapides d'eau et de gaz; mais des données précises sur ce sujet font encore défaut; et il serait difficile de dire jusqu'à quel degré les chaudières dites *à circulation* sont plus avantageuses que les autres. Il paraît également établi que la communication de chaleur est plus prompte et plus parfaite, lorsque l'écoulement des gaz chauds est subdivisé entre un grand nombre de courants de petite section, comme dans les chaudières de locomotives; néanmoins c'est encore là un point qui n'est pas complètement élucidé.

Dans les chaudières ordinaires, la fumée s'échappe à une température assez basse; lorsque cette température ne dépasse pas de plus de 70 à 100 degrés celle de l'eau de la chaudière, la transmission de la chaleur devient presque nulle. Pour dépouiller plus complètement de leur chaleur les gaz de la combustion, avant de les lancer dans la cheminée, on a recours à un procédé particulier: on utilise ces gaz pour chauffer, non pas l'eau chaude de la chaudière, mais l'eau froide sous pression qui sert à l'alimentation. Le courant d'eau froide parcourt de bas en haut un jeu de tuyaux, offrant une très grande surface, et qui est léché à l'extérieur par le courant descendant des fumées chaudes. On peut gagner ainsi une centaine de degrés sur la température des gaz à leur entrée dans la cheminée. Cette méthode très rationnelle est loin d'être nouvelle; mais elle a été singulièrement étendue depuis quelques années; et l'on a même trouvé avantageux d'attribuer au réchauffeur d'eau d'alimentation la majeure partie de la surface de chauffe totale. Toutefois le procédé ne laisse pas de présenter quelques difficultés

Gr. VI. — Cl. 54.

d'application, sur lesquelles nous aurons à revenir en parlant deces intéressants appareils.

La Société industrielle de Mulhouse ne cesse d'étudier depuis un grand nombre d'années les questions se rattachant à la production de la vapeur et au rendement des générateurs en eau vaporisée. De nombreuses expériences, faites avec le plus grand soin, ont conduit MM. Scheurer-Kestner et Ch. Meunier à poser les chiffres suivants, comme représentant la moyenne des essais faits sur une chaudière à trois bouilleurs, avec réchauffeurs.

Les calories dégagées dans le foyer se répartissent comme suit :

Rendement : Calories dans la vapeur		61
Combustion incomplète :		
Calories dans les gaz combustibles échappant à la combustion	5,0	7
Calories enlevées par le noir de fumée	0,5	
Calories enlevées par le charbon restant dans les cendres	1,5	
Pertes par la cheminée :		
Calories dans les gaz permanents de la combustion	5,5	8
Calories dans la vapeur d'eau de la combustion	2,5	
Pertes non dosées, par les parois, rayonnement, etc.		24
		100

Ainsi, dans les chaudières à bouilleurs avec réchauffeurs, les mieux installées, les mieux conduites, les calories contenues dans la vapeur, c'est-à-dire les calories utilisées, ne représentent guère que les soixante centièmes de la chaleur développée par la combustion de la houille. L'influence des réchauffeurs, déterminée par expérience, a été trouvée égale à 8 ou 10 p. o/o ; d'où il résulterait que les chaudières ordinaires à bouilleurs ne rendraient que 52 p. o/o. Cependant les habiles expérimentateurs de Mulhouse ont réduit, pour ainsi dire, à leur minimum les pertes provenant de la combustion incomplète et de l'évacuation des gaz chauds dans la cheminée.

Les pertes par le refroidissement extérieur représentent environ

le quart de la chaleur produite au foyer. Ces pertes ont été trouvées moindres pour les chaudières à foyer intérieur ou tubulaires, soit environ 15 à 18 p. o/o. De telle sorte que le rendement s'élèverait, pour ces chaudières, au chiffre de 70 p. o/o, si les pertes dosées n'étaient pas un peu plus fortes. Mais, dans les chaudières à foyer intérieur, la combustion se fait généralement dans de moins bonnes conditions, à cause des plus faibles dimensions des grilles, et de l'absence de la chambre de combustion en matériaux réfractaires, qui assure mieux la combustion des gaz, en leur conservant plus longtemps la haute température nécessaire à l'inflammation.

En définitive, on peut admettre qu'aujourd'hui un générateur bien construit et bien conduit peut transformer en vapeur de 60 à 65 p. o/o de la chaleur contenue dans le combustible, et que, dans les circonstances ordinaires de la pratique, le rendement doit s'abaisser à 60 p. o/o, et descend fréquemment bien au-dessous.

Il est bien remarquable que, dans les expériences de Mulhouse, si soignées, si précises, présentant toutes les garanties d'exactitude, les chaudières des formes et des dispositions les plus variées aient toutes donné sensiblement les mêmes rendements; les différents chiffres de pertes, en oscillant autour de certaines moyennes, semblent se balancer les uns les autres, et amener en définitive au même total.

Cette indifférence du système de chaudière, au point de vue du rendement, est sans doute en contradiction avec les promesses souvent ambitieuses des prospectus; mais le fait semble établi d'une manière irréfutable, et cette constatation a déblayé d'illusions nombreuses le champ des investigations. Du reste, l'influence considérable des bonnes proportions, de l'état d'entretien du générateur, de l'habileté du chauffeur, s'est manifestée d'une manière décisive, aussi bien dans les expériences dont nous venons de parler que dans toutes celles qui ont été conduites avec quelque soin.

Est-ce à dire pour cela que, dans un cas donné, on puisse indifféremment adopter tel ou tel système de chaudière? Conviendrait-il, par exemple, de prendre une chaudière à bouilleurs pour fournir de vapeur une locomotive, ou une chaudière marine pour

Gr. VI. — Cl. 54.

une machine de manufacture? Assurément non! Et c'est précisément la diversité infinie des usages auxquels la vapeur est aujourd'hui adaptée, qui justifie et motive la diversité des types de générateurs. Ainsi, dans l'étude d'un système de chaudières, ce sont des considérations autres que celles du rendement qui doivent entrer surtout en jeu.

Une des plus importantes est celle des proportions variables qui existent, dans chaque système, entre la surface de chauffe, la masse d'eau emmagasinée dans la chaudière, ou réservoir d'eau, et le réservoir de vapeur qui le surmonte.

Les notions bien simples relatives au rôle que jouent les réservoirs d'eau et de vapeur sont aujourd'hui assez répandues.

On sait que le réservoir d'eau constitue le véritable magasin de force motrice, destiné à parer aux irrégularités momentanées dans l'activité de la combustion et dans la dépense de vapeur; entre le foyer et le cylindre, le réservoir d'eau remplit les mêmes fonctions que le volant entre le cylindre et l'arbre de couche de la machine. Ces notions ont été précisées par les calculs déduits des formules de la théorie mécanique de la chaleur, et de ceux auxquels ont conduit les applications, déjà assez nombreuses, de la locomotive dite *sans foyer* du docteur Lamm.

On connaît le principe de cet ingénieux système: c'est une locomotive ordinaire, dont la chaudière est remplacée par un simple corps cylindrique, très solide et bien enveloppé, de manière à éviter les déperditions de chaleur, et aux trois quarts rempli d'eau. Ce réservoir est mis en relation avec une chaudière fixe; la vapeur de cette chaudière distille et se condense dans l'eau du réservoir, dont elle élève la température; quand l'équilibre de pression est établi, la température est d'environ 200 degrés, correspondant à une pression de 16 atmosphères. La locomotive est alors prête à fonctionner: on la détache de la chaudière fixe, et elle peut fournir un trajet de plusieurs kilomètres, la pression s'abaissant progressivement par l'effet de la vapeur dépensée.

C'est l'eau contenue dans le réservoir de cette machine qui emmagasine la chaleur fournie par la chaudière fixe, et qui la

dépense peu à peu sous forme de travail; un réservoir de même dimension, qui ne contiendrait que de la vapeur, pourrait à peine fournir un parcours de quelques mètres.

Dans les chaudières fixes devant donner un travail soutenu et de longue durée, le réservoir d'eau est considérable; les variations de pression sont ainsi très lentes, et la besogne du chauffeur se trouve fort simplifiée.

Mais, dans certains cas, il est nécessaire, au contraire, que l'on puisse, en très peu de temps, mettre la chaudière en état; c'est ainsi que les pompes à incendie à vapeur, qui rendent tous les jours des services signalés, doivent être mises en pression en quelques minutes; aussi leur réservoir d'eau est-il réduit aux plus faibles dimensions; il en est de même pour certaines chaloupes à vapeur.

Entre ces deux types opposés, chaudières fixes de manufactures d'un côté, chaudières pour pompes à incendie de l'autre, viennent se placer des intermédiaires en grand nombre, qui participent plus ou moins des propriétés des deux extrêmes.

Plus le réservoir d'eau est considérable, plus la conduite est facile; avec les réservoirs d'eau de faible dimension, la montée en pression est rapide, la chaudière est légère; mais la chauffe est difficile, elle exige une grande habileté et une attention soutenue.

Le réservoir de vapeur joue un rôle tout différent de celui du réservoir d'eau : son principal objet est de diminuer les entraînements d'eau. L'eau mélangée mécaniquement avec la vapeur ne présente pas de très graves inconvénients, lorsqu'elle est en petite quantité, et à l'état de poussière fine, qui suit tous les mouvements du fluide auquel elle est mêlée; tout au plus amène-t-elle une faible diminution du rendement mécanique du combustible. Il en est tout autrement quand l'eau entraînée est en grande abondance; cette eau se dépose dans les cylindres et produit, à l'admission, des condensations considérables; non seulement le rendement est fortement diminué, mais encore le liquide, accumulé derrière le piston, peut donner lieu à des coups d'eau et à la rupture des pièces du mécanisme.

Gr. VI. — Cl. 54.

On est assez bien fixé aujourd'hui sur les causes qui produisent les entraînements d'eau abondants. Au premier rang, il faut compter les dimensions trop faibles du réservoir de vapeur, comparées à l'activité de la vaporisation, puis une surface de plan d'eau trop petite offerte au dégagement du fluide, une eau grasse ou visqueuse, des dispositions vicieuses de la prise de vapeur, etc.; cependant il reste encore bien des points obscurs dans cette question. Quant aux remèdes à apporter aux entraînements d'eau, dans les chaudières à vaporisation rapide, ils sont jusqu'ici mal connus ou du moins mal définis; un de ceux qui réussissent assez souvent consiste à couper le courant fluide d'eau et vapeur, en un point où il est animé d'une grande vitesse, par une paroi sur laquelle viennent se déposer les gouttelettes liquides.

L'eau entraînée apporte une difficulté sérieuse dans les expériences, d'un si grand intérêt, que l'on fait sur les générateurs; car elle peut induire gravement en erreur sur la valeur du rendement. Différentes méthodes ont été proposées pour la jauger; mais elles sont, ou d'une application fort délicate, ou d'une exactitude douteuse. De nouvelles et sérieuses recherches sur ce point seraient vivement à désirer. Il est bon de rappeler ici une erreur singulière, qui a longtemps eu cours, sur l'importance des entraînements d'eau; cette erreur résultait d'une méthode vicieuse de compter le poids de vapeur délivré à la machine; on le calculait d'après la densité de la vapeur et le volume à l'admission au cylindre; on comparait ce poids à celui de l'eau fournie à la chaudière, et l'on mettait la différence sur le compte de l'eau mécaniquement entraînée. Des expériences précises ont démontré combien cette méthode est fautive : elle ne tient aucun compte en effet des condensations inévitables qui se produisent, même avec la vapeur la plus sèche, au moment de l'admission.

Examinons actuellement la question des pressions. Avec les pressions élevées, on obtient un meilleur rendement, la machine est moins volumineuse et plus légère qu'avec des pressions plus basses. Ce sont là des avantages importants, que d'ailleurs la pratique a reconnus et mis à profit depuis longtemps. Aussi voit-on

les pressions en usage s'élever d'une exposition à l'autre, lentement, mais d'une manière continue. Cependant différentes causes ralentissent cette élévation progressive. D'abord une augmentation de 1 atmosphère est beaucoup plus avantageuse, quand la pression de départ est faible, que lorsqu'elle est plus élevée; ainsi on gagnera beaucoup à passer de 1 atmosphère à 2, et très peu de chose à passer de 10 à 11. Les hautes pressions présentent beaucoup moins d'avantages, comme rendement, avec les machines à condensation. D'autre part, quand on arrive aux pressions élevées, on se heurte à des difficultés d'ordre pratique, qui ne manquent pas de gravité; ainsi on a beaucoup de peine à tenir les joints étanches et les garnitures en état.

Aujourd'hui, les pressions en usage sont de 4 à 6 kilogrammes (pression effective en kilogrammes par centimètre carré) pour les machines fixes, de 6 à 8 kilogrammes pour les machines sans condensation et locomobiles, de 8 à 10 kilogrammes pour les locomotives, et, dans certains cas, on dépasse ce dernier chiffre; les Américains emploient couramment des pressions plus élevées.

La théorie mécanique de la chaleur donne l'explication, très simple et très satisfaisante, des faits pratiques que nous venons de mentionner, en même temps qu'elle jette une vive lumière sur la plupart des phénomènes qui accompagnent le jeu des machines à vapeur. Le rendement en travail de la chaleur fournie par la chaudière ne peut dépasser une limite, qui résulte uniquement des températures de la vapeur à l'admission et à l'échappement, absolument comme, dans une roue hydraulique, le travail par mètre cube d'eau ne dépend que du niveau des deux biefs. Plus ces températures sont écartées, plus le rendement peut être élevé. Partant de là, il est facile de démontrer les avantages économiques des hautes pressions, qui correspondent à une température élevée de la vapeur à l'admission, et ceux de la condensation, qui correspond à une basse température à l'échappement; on explique de même qu'il y a moins à gagner à élever la pression avec les machines à condensation qu'avec celles sans condensation, etc.

Dans ces déductions, ce sont, à proprement parler, les tempé-

Gr. VI. — Cl. 54.

ratures qui entrent en compte; les pressions n'interviennent que d'une manière indirecte. Théoriquement on peut élever le rendement sans augmenter la pression, en employant la vapeur à une température supérieure à celle qui correspond au point de saturation, c'est-à-dire la *vapeur surchauffée*. De nombreux essais ont été tentés dans cette direction; ils ont donné parfois des résultats intéressants. Cependant l'usage de la vapeur surchauffée ne s'est pas beaucoup répandu; il rencontre dans la pratique des difficultés sérieuses.

En premier lieu, la transmission de la chaleur entre une paroi métallique et un fluide élastique se fait mal; il faut donc, pour surchauffer la vapeur, ou bien des surfaces de chauffe très développées, ou une température fort élevée de la paroi, et par conséquent des chances de prompte détérioration.

En second lieu, la vapeur chaude et sèche attaque énergiquement les graisses des joints et des garnitures; la lubrification se fait mal; aussi les meilleurs résultats ont été obtenus avec une surchauffe modérée. Et alors on constate que, par le seul fait de son contact avec les parois du cylindre, la vapeur perd assez de chaleur pour passer à l'état de saturation, et même se condenser partiellement. Dans ces conditions, le plus grand avantage de la surchauffe se traduit par une atténuation des condensations à l'admission.

Si la surchauffe dépasse ce degré, les grippements se produisent. Il est donc nécessaire que la surchauffe soit toujours maintenue entre des limites fort étroites; et c'est là un point difficile à obtenir, à cause de la faible masse du fluide et des variations inévitables, tant dans la rapidité du courant de vapeur que dans la température du courant de gaz chauds qui enveloppe le surchauffeur.

L'emploi de la vapeur surchauffée, malgré ses avantages économiques, n'est pas encore entré dans la pratique courante; mais c'est un sujet qui appelle de nouvelles recherches, et l'on ne doit pas désespérer de voir, un jour ou l'autre, résoudre ce problème, et réduire ainsi, dans une notable mesure, la consommation des moteurs à vapeur.

Nous avons résumé, dans ce qui précède, les idées aujourd'hui

généralement admises sur la production et l'utilisation de la vapeur. Nous entrons actuellement dans le domaine de la pratique, et nous allons examiner comment ces idées sont appliquées à la construction et à la conduite des chaudières.

Commençons par l'étude des dispositions d'ensemble le plus ordinairement adoptées. Ainsi qu'on l'a vu précédemment, le volume du réservoir d'eau joue un rôle considérable dans les conditions pratiques de la marche des générateurs, et par conséquent dans celles de leur établissement. D'autres circonstances entrent également en compte; les questions d'emplacement et de légèreté sont assez souvent capitales, comme, par exemple, pour les chaudières marines et de locomotives; la nature des eaux, celle du combustible, la facilité du nettoyage, les règlements de police, sont, avec bien d'autres encore, des considérations auxquelles il faut avoir égard. C'est de la comparaison de ces données diverses, du balancement judicieux de ces exigences, que sortent, comme solutions, les formes si nombreuses des générateurs aujourd'hui en usage.

Nous décrirons plus loin quelques-unes des chaudières qui figuraient à l'Exposition; nous en étudierons les dispositions variées et les propriétés les plus importantes; mais, pour ne pas sortir des questions générales, nous allons passer immédiatement à celle de l'alimentation d'eau. Elle est de la plus haute importance et intéresse au premier chef le bon fonctionnement, la conservation et, par-dessus tout, la sécurité des générateurs. Cette importance est chaque jour mieux appréciée, en présence des accidents et des désordres résultant infailliblement d'une alimentation défectueuse.

Les conditions à remplir sont les suivantes :

1° Le plan d'eau dans la chaudière ne doit pas s'éloigner notablement d'un niveau moyen déterminé, et, dans tous les cas, ne jamais découvrir les parois exposées au contact des flammes;

2° Le métal de la chaudière doit être maintenu propre, et l'eau d'alimentation ne doit ni l'attaquer ni le couvrir de dépôts durs ou trop abondants.

Les appareils destinés à maintenir la fixité du plan d'eau,

Gr. VI. — Cl. 54.

pompes, injecteurs, etc., ceux destinés à en manifester les déplacements, tubes de niveau, robinets, flotteurs, etc., sont aujourd'hui généralement bien construits, et leur jeu est sûr lorsqu'ils sont tenus en bon état. Mais, pour en arriver là, il a fallu de longs et minutieux tâtonnements, portant sur chacun des nombreux détails de ces appareils délicats: le défaut de proportions d'une soupape de pompe alimentaire suffit quelquefois pour amener de fréquents ratés et paralyser le jeu d'un puissant moteur. Ce sont là des embarras qui se présentent encore de temps à autre dans la conduite des chaudières; aussi chaque jour amène, dans la construction des appareils alimentaires, des perfectionnements plus ou moins heureux, destinés à donner plus de sécurité à leur fonctionnement.

Une chaudière étant munie d'appareils de sûreté bien établis, il faut encore que le chauffeur sache en faire un usage convenable, qu'il soit en état d'exercer une surveillance attentive, et de faire jouer l'alimentation à propos. Cette question, d'une grande importance, se rattache immédiatement à celle plus générale de l'éducation des chauffeurs, sur laquelle nous aurons à revenir. Dans les chaudières à vaporisation rapide et à faible surface de plan d'eau, la surveillance à exercer pour maintenir le niveau fixe devient très assujettissante et exige des soins tout particuliers.

L'action exercée par l'eau sur les parois de la chaudière a été, dans ces derniers temps, l'objet d'études sérieuses; mais le sujet est fort étendu et loin d'être épuisé. Cette action dépend d'un grand nombre de circonstances, parmi lesquelles les plus importantes sont : la nature des eaux, la forme et les dispositions de la chaudière et l'activité de la vaporisation.

Il convient de distinguer, au point de vue de l'alimentation, les eaux *corrosives* des eaux *incrustantes*.

Quelles sont les circonstances qui amènent la corrosion intérieure des chaudières? Quels sont les moyens de les éviter? A ces questions il semble bien difficile, pour le moment, de répondre, au moins d'une manière un peu générale. Dans quelques cas, assez rares, on a pu retrouver les traces de l'agent corrosif, sous forme

d'acide minéral, de corps gras ou de combinaisons d'acides gras; quelquefois on a pu avec vraisemblance attribuer les corrosions, soit à la présence de flaques d'eau dans une chaudière mal vidée et maintenue longtemps froide, soit à des efforts anormaux développés dans le métal; d'autres fois on a cru reconnaître les effets de courants électriques. Mais le plus souvent ces corrosions n'ont reçu aucune explication plausible. Elles prennent les formes les plus bizarres; tantôt elles suivent les rivures, tantôt elles se disséminent sous formes de piqûres ou de vermiculures plus ou moins contournées, tantôt elles rongent la tôle sur de larges surfaces, et la percent ou la réduisent à une épaisseur minime; souvent leur action est lente et progressive; quelquefois elle est fort rapide, et l'on a vu des batteries de chaudières mises ainsi hors de service en quelques jours.

En présence de l'obscurité des causes qui provoquent les corrosions, il serait difficile d'indiquer des méthodes rationnelles qui permettent de les prévenir. Dans quelques cas, surtout pour les chaudières marines alimentées par l'eau des condenseurs par surface, le zinc métallique a produit de bons effets.

C'est là à peu près le seul résultat général bien constaté; aussi l'empirisme s'est-il donné largement carrière, et les remèdes efficaces contre les corrosions ne font pas défaut dans les prospectus.

Il en est de même des moyens pour prévenir les dépôts; les tartrifuges, de composition plus ou moins mystérieuse, se sont livrés, en présence du jury, des batailles olympiques. Il est clair que, contre les incrustations, pas plus que contre les corrosions, il n'existe de panacée universelle. Les sels incrustants sont de natures trop variées, dans les diverses eaux, pour qu'un seul et unique remède suffise à en écarter les effets; la recherche d'un antiincrustant doit donc, dans chaque cas donné, être précédée de l'étude des eaux d'alimentation.

Il ne saurait d'ailleurs être question d'empêcher la formation des dépôts : les parties solides en suspension ou en dissolution dans l'eau introduite dans la chaudière restent dans cette chaudière et ne passent pas en proportions sensibles dans la vapeur; il arrivera

Gr. VI. — Cl. 54.

donc nécessairement qu'au bout d'un temps plus ou moins long, des dépôts se produiront. Le but qu'on s'efforce d'atteindre, c'est de faire que ces dépôts n'aient pas d'effets nuisibles.

En mélangeant à l'eau de la chaudière certaines substances, on arrive quelquefois à empêcher les dépôts de s'agréger, de se solidifier; ils restent ainsi en suspension dans l'eau, conservent la forme boueuse, et sont faciles à chasser au nettoyage. Pour les eaux chargées de carbonate de chaux, les matières tannantes, sagou, campêche, copeaux de chêne, etc., ont assez souvent réussi. Lorsqu'on a affaire au sulfate de chaux, la question est plus difficile; le sulfate de chaux est l'un des pires ennemis des chaudières; il donne des croûtes épaisses, dures, fortement adhérentes, qu'il faut souvent attaquer au burin, au grand détriment de la tôle. On a essayé les carbonates alcalins, l'argile, les substances amylacées, la glycérine, le pétrole, le talc, etc., et l'on en a obtenu parfois de bons résultats, entremêlés d'un grand nombre d'échecs. L'usage de matières mélangées à l'eau de la chaudière, et agissant mécaniquement ou chimiquement, réussit souvent à empêcher la formation d'incrustations dures, mais à une condition essentielle, et assez rarement remplie : c'est que le choix de ces matières soit fait avec discernement et leur emploi entouré de précautions, sans lesquelles on voit se produire des inconvénients plus graves que ceux qu'on cherchait à éviter.

Un autre procédé consiste à localiser les dépôts dans des parties de la chaudière où ils ne soient pas nuisibles, et d'où il soit facile de les enlever; à cet effet, on dispose des récipients, en communication avec l'eau de la chaudière, mais dans lesquels les mouvements du liquide soient très lents; les matières solides, en suspension dans l'eau vivement agitée, viennent se déposer dans ces récipients, où règne un calme relatif. Des essais assez anciens avaient déjà été faits dans cette direction; l'Exposition présentait de nouveaux dispositifs, mieux entendus comme proportions et bien étudiés dans leur ensemble; il semble qu'on peut espérer des résultats sérieux dans cet ordre d'idées.

Dans les chaudières munies de réchauffeurs d'eau d'alimentation, suffisamment développés, la plus grande partie des dépôts

se forment dans ces réchauffeurs; et en effet le sulfate de chaux est insoluble à la température ordinaire des chaudières, et le carbonate de chaux se précipite, dès que l'eau, en s'échauffant, laisse échapper l'acide carbonique. Divers appareils étaient exposés pour tirer parti de cette propriété. Citons entre autres le système d'alimentation des chaudières *Belleville*.

Pour se mettre à l'abri des corrosions et des incrustations, il existe deux moyens, dont une longue pratique a consacré l'efficacité : c'est de n'employer pour l'alimentation que de l'eau de bonne qualité, et de soumettre la chaudière à des visites et à des nettoyages fréquents.

Les compagnies de chemins de fer font souvent des sacrifices importants pour se procurer de l'eau propre à l'alimentation des chaudières. A défaut d'eaux suffisamment pures, elles installent des usines pour traiter, par des procédés chimiques, l'eau dont elles disposent, avant de la délivrer aux réservoirs où s'alimentent les tenders. Ces procédés coûteux sont rarement employés dans l'industrie privée, et peut-être serait-il assez souvent utile d'y avoir recours.

Les chaudières alimentées par des eaux incrustantes doivent être souvent nettoyées et lavées intérieurement à des intervalles assez rapprochés, pour que les dépôts n'aient pas le temps de prendre une grande épaisseur et de durcir. Cette précaution est quelquefois assujettissante, mais elle contribue dans une large mesure au bon fonctionnement du générateur, à la sécurité de sa marche et à la bonne utilisation du combustible.

Les nettoyages doivent être complétés par des visites minutieuses, périodiquement renouvelées, faites par des hommes spéciaux; ces visites sont, à juste titre, considérées comme un des moyens les plus sûrs d'éviter les accidents terribles et inattendus qui proviennent si souvent du mauvais état des générateurs. C'est principalement en vue d'en assurer l'efficacité que, dans les centres industriels, on voit se constituer ces associations de propriétaires d'appareils à vapeur, qui ont déjà rendu de si grands services.

Gr. VI. — Cl. 54.

Il n'y a pas bien longtemps que l'entretien et la conduite des générateurs étaient généralement abandonnés à de simples manœuvres, sans instruction professionnelle. Aujourd'hui un grand nombre d'industriels portent leur attention sur ce point; c'est là un progrès qu'il est bon de noter.

Tous les générateurs ne se prêtent pas avec une égale facilité aux visites et aux nettoyages. Les chaudières tubulaires et celles qui comportent de nombreuses armatures intérieures présentent des parties dans lesquelles il est quelquefois difficile de pénétrer. Dans les chaudières de locomotives, on multiplie les moyens d'accès, les trous d'homme et les tampons de lavage; au besoin, on sacrifie quelques tubes à chaque grand nettoyage, sauf à les rabouter ou à les envoyer aux magasins. La facilité du nettoyage est un des points importants sur lesquels se porte l'attention du constructeur soigneux, quand il établit les projets d'une chaudière; il est de première nécessité que les parois soient accessibles dans leurs parties les plus reculées, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur; et cette sujétion, souvent gênante pour l'établissement des bouilleurs et carneaux, ne saurait en aucun cas être déclinée.

Nous allons actuellement aborder des questions d'un ordre tout à fait pratique, et résumer les progrès réalisés depuis quelques années dans la construction des chaudières et l'art de la chaudronnerie.

Nous n'avons à constater aucune de ces inventions capitales qui transforment la face d'une industrie, mais bien une meilleure entente des principes, des dispositions, du choix et de la mise en œuvre des matières, puis une série d'études, de perfectionnements de détails, dont l'ensemble constitue en somme une amélioration importante.

Les formes des chaudières sont en général restées les mêmes, mais elles présentent plus de variétés, correspondant à une spécialisation plus complète des types; les proportions dans l'ensemble, aussi bien que dans le détail, sont ordinairement bonnes.

Les métaux les plus employés sont : la tôle de fer et quelquefois d'acier pour le corps de chaudière, la fonte pour les supports, pour

certains tuyaux et les pièces de petites dimensions, et le laiton ou le fer pour les tubes calorifères des chaudières tubulaires. Gr. VI. — Cl. 54.

Les épaisseurs des tôles, dans les corps cylindriques pressés de dedans au dehors, ont cessé en France d'être réglées par des ordonnances, et liberté entière est laissée à cet égard, sous réserve d'examen et d'épreuves préalables. L'expérience de douze années a prouvé que cette liberté tempérée ne présente que des avantages. Les constructeurs savent compenser, par un choix et un travail convenables du métal, les réductions d'épaisseur auxquelles les circonstances spéciales les amènent assez souvent, sans compromettre en aucune façon la sécurité de leurs ouvrages. Les progrès de la chaudronnerie sont d'ailleurs intimement liés à ceux de la métallurgie. Les maîtres de forges livrent aujourd'hui des feuilles de tôle pour chaudières ayant jusqu'à $2^{m},20$ de large, sur une longueur suffisante pour faire en un seul morceau les viroles de grand diamètre; ces grandes dimensions permettent, dans la construction des chaudières, de réduire beaucoup le développement des coutures, au grand avantage de la solidité et de la légèreté.

Au point de vue de la qualité, la fabrication du fer au bois a cédé à peu près partout la place à la méthode anglaise, au combustible minéral; le métal ainsi obtenu, s'il est de beaucoup meilleur marché, est en général d'une qualité inférieure. Toutefois, on obtient aujourd'hui, à des prix abordables, des tôles qui ne le cèdent en rien aux anciennes tôles au bois si renommées. D'autre part, la pratique des essais méthodiques et précis des fers, et l'usage de les prescrire dans les marchés, prennent constamment plus d'extension; il en résulte dans les forges l'habitude de travailler sur des données bien définies, et de livrer des produits présentant exactement les qualités requises pour l'usage auquel on les destine.

Les tôles de fer pour chaudières doivent avant tout être malléables, aussi bien en long qu'en travers, afin de pouvoir résister sans rupture aux efforts qu'elles ont à subir, tant pendant la construction qu'en service. Cette condition est tellement acceptée aujourd'hui, que la marine française se contente de faire des

Gr. VI. — Cl. 54.

épreuves sur le travers des feuilles de tôle, et si elle en fait dans l'autre sens, c'est seulement pour s'assurer que les chiffres de la résistance et de l'allongement en long sont supérieurs aux autres. La marine française a trois catégories de tôle de fer : ordinaire, supérieure et fine, qui doivent présenter en travers une résistance à la rupture de 32 à 35 kilogrammes par millimètre carré, avec 5 à 10 p. o/o d'allongement; celui-ci exprimé en centièmes de la longueur primitive, et mesuré en soumettant à la traction des éprouvettes de 200 millimètres de longueur. Si l'on prenait, comme cela arrive très souvent, des éprouvettes de 100 millimètres, l'allongement proportionnel serait plus grand pour le même métal; les causes de cette différence seront mises en lumière quand il sera question de l'acier.

On trouve rarement, dans le commerce, des tôles de fer résistant en travers à des chiffres plus élevés que ceux de la marine française. Celles qui ont été considérées jusqu'ici comme les meilleures proviennent des forges d'Audincourt, sous la dénomination A. Leur résistance à la rupture est de 40 kilogrammes en long et de 35 kilogrammes en travers, avec une limite d'élasticité de 20 à 22 kilogrammes. Quant aux allongements, ils sont de 15 à 18 p. o/o en long; en travers, ces allongements sont compris entre la moitié et les deux tiers des allongements en long. Les écarts de résistance et d'allongement d'un sens à l'autre varient en raison plus ou moins directe de la longueur de la tôle. D'autres forges, et notamment celles du Creusot, de Montataire, d'Anzin et plusieurs forges de la Loire, fournissent pour la chaudronnerie des tôles justement estimées.

Les défauts que présentent les chaudières montrent bien l'importance de la qualité des tôles. Les tôles communes doivent être proscrites pour toutes les parties exposées à subir des dilatations anormales ou inégales. Malheureusement il est un défaut qui se manifeste, plus souvent peut-être, avec les tôles de qualité supérieure: nous voulons parler des pailles et des dédoublements. Toutes les tôles de fer, sans exception, sont plus ou moins sujettes à ce dernier défaut, et, dans les essais à la traction, le dédoublement sur l'épaisseur se manifeste sous une certaine charge, et peut être très

bien observé. Il y aurait là peut-être une nouvelle indication à demander dans l'avenir aux essais de résistance. Gr. VI. — Cl. 54.

Malgré les latitudes accordées par le décret de 1865, les épaisseurs de tôles des corps cylindriques couramment pratiquées en France n'ont pas subi de fortes réductions.

Elles sont généralement plus faibles en Angleterre, et surtout aux États-Unis; en dehors de leur hardiesse traditionnelle, les constructeurs américains font usage de tôles de très bonne qualité; et peut-être aussi, dans ce pays où les industries subissent de si fréquentes transformations, les usiniers n'exigent-ils pas de leurs chaudières les conditions de longue existence, si indispensables sur l'ancien continent.

La résistance des parties cylindriques ayant à subir une pression extérieure a été étudiée par la théorie et au moyen d'expériences intéressantes; la question a été ainsi élucidée, mais non complètement résolue, et appelle de nouvelles recherches; on calcule dans ce cas l'épaisseur des parois au moyen de formules empiriques. Il semble prouvé qu'il y a avantage à soutenir ces cylindres par des renforts rigides en forme d'anneaux convenablement espacés; on trouve à l'Exposition quelques dispositifs de ce genre fort remarquables.

Les fonds de chaudières, que pendant longtemps on a constitués au moyen de demi-sphères en plusieurs pièces, se font généralement en une seule pièce emboutie, en tôle de première qualité. On voyait, tant dans les chaudières exposées que dans les expositions de la métallurgie, des pièces de tôle embouties, de formes très compliquées et d'une exécution parfaite; pour obtenir des pièces pareilles, il faut à la fois un métal excellent et une main-d'œuvre de premier ordre.

Pour les fonds de bouilleurs et de dômes, non exposés à la flamme, on fait souvent usage de tampons en fonte douce, qui se rivent fort bien sur la tôle, et donnent des points d'attache résistants aux organes accessoires de la chaudière.

Un des points les plus délicats, dans la construction des chaudières, est le calcul de la résistance des fonds plats et de leurs ar-

matures. La théorie ne donne sur ce sujet que des indications peu précises, et les expériences font défaut; le plus souvent on fixe les dimensions au sentiment éclairé par la pratique; il y a là une lacune qu'il serait désirable de voir combler. Ce problème se présente constamment dans l'étude des projets de chaudières.

On procure quelquefois aux parois planes ou convexes la rigidité nécessaire en les constituant au moyen de tôles ondulées. Ces tôles possèdent une notable élasticité dans le sens perpendiculaire à leurs ondulations, ce qui, dans bien des cas, peut servir efficacement à prévenir les effets très dangereux des dilatations inégales des parois parallèles.

Jusqu'ici nous avons eu principalement en vue la tôle de fer. La tôle de cuivre rouge n'est guère employée que pour les foyers de chaudières de locomotives ou autres chaudières de dispositions analogues; cependant, même pour cet usage, elle est presque constamment remplacée aux États-Unis par la tôle d'acier.

La question de l'emploi de la tôle d'acier pour la construction des chaudières est aujourd'hui posée d'une manière impérieuse; il ne sera donc pas inutile d'entrer dans quelques développements sur ce sujet d'une haute importance.

Une chaudière en acier fondu figurait à l'Exposition de 1855, présentée par MM. Jackson frères, Petin, Gaudet et Cie. Mais ce n'est qu'à partir de 1861-1862 que de l'acier fut employé d'une manière un peu générale dans la construction des chaudières à vapeur, principalement pour locomotives et machines marines.

Les compagnies françaises des chemins de fer d'Orléans et du Midi pensèrent les premières que l'acier devait donner des chaudières légères et résistantes. Encore placées sous le régime des ordonnances administratives, elles en suivirent les prescriptions; elles furent ainsi conduites à employer de l'acier fondu ayant une grande résistance à la rupture (au moins 60 kilogrammes par millimètre carré) et un faible allongement (1/15 au moins, sans définition de la longueur de l'éprouvette). D'ailleurs, à ce moment, l'industrie métallurgique ne fabriquait que des aciers au creuset, plus ou moins durs, prenant la trempe, et donnant des allongements beau-

coup plus faibles que les aciers doux, que les grandes inventions de Bessemer, Siemens, Martin et autres allaient bientôt permettre de livrer à l'industrie.

De plus, les constructeurs ne pouvaient prendre, dans la façon de travailler l'acier, les précautions spéciales que l'expérience n'indiqua que plus tard. Construites et travaillées comme du fer, les pièces d'acier pour chaudières donnèrent lieu, en cours de fabrication ou en service, à des ruptures brusques, et même à des explosions terribles, qui jetèrent vite la défaveur sur le nouveau métal.

Nous retrouvons encore, en 1878, la tôle proscrite de la plupart des ateliers français; elle est même à peu près abandonnée par quelques-unes des compagnies de chemins de fer, qui n'avaient pas hésité à l'adopter pour leurs locomotives, afin d'augmenter la puissance de l'appareil vaporisateur, sans en accroître le poids.

Cependant certains chemins de fer étrangers obtiennent, avec leurs chaudières d'acier, des résultats tellement remarquables, que, depuis quelques années, ils n'hésitent pas à construire leurs chaudières exclusivement en acier doux. Nous citerons la compagnie anglaise du *London and North-Western Railway*, dont les machines, fabriquées dans les magnifiques ateliers de Crewe, n'ont donné lieu à aucun accident.

D'autre part, la marine française, qui a marché la première dans la voie du progrès comme application de l'acier à la construction des navires, est parvenue à déterminer, non seulement les conditions dans lesquelles le métal fondu doit être travaillé, mais encore les propriétés physiques et mécaniques indispensables pour obtenir des pièces donnant toute sécurité dans le service. Déjà, en 1875, M. Barba, ingénieur des constructions navales, a publié une étude fort remarquable sur l'emploi de l'acier dans les constructions, et a donné, sur la méthode à suivre pour la mise en œuvre de ce métal, des indications précieuses qui ont été mises à profit.

Depuis cinq ans en France, les coques d'un grand nombre de navires de l'État sont, en totalité ou en partie, construites en acier, ainsi que les enveloppes des chaudières marines. On n'est pas encore revenu à employer ce métal pour les plaques tubulaires et les foyers, qui s'étaient dès l'origine mal comportés. La marine an-

Gr. VI. — Cl. 54.

glaise a suivi l'exemple de sa voisine d'outre-Manche et, tout récemment, elle s'est engagée résolument dans la voie nouvelle.

En cet état de choses il paraît utile de dire, en quelques mots, les conditions dans lesquelles ont été construites en France les premières chaudières en acier, afin de montrer les causes de l'insuccès relatif qui a été obtenu.

Deux séries d'essais à la traction ont servi, dès l'origine, à se rendre compte des propriétés mécaniques des aciers.

Ils consistent dans la détermination de la charge de rupture et de l'allongement proportionnel que prend le métal sous cette charge.

Il est utile ici de faire ressortir une particularité importante. Nous voulons parler de l'influence qu'exercent sur l'allongement final les dimensions, la forme et surtout la longueur de l'éprouvette. Lorsqu'on soumet une barrette à des efforts successifs de traction devant amener la rupture, il se produit d'abord un allongement proportionnel élastique, qui est relativement très faible, et très peu différent pour les diverses qualités d'acier[1]; ensuite un allongement permanent bien accentué se manifeste, pour se localiser bientôt en un point, qui s'allonge bien davantage, en présentant une section très réduite, où se produit finalement la rupture[2].

Lorsqu'on rapproche les deux parties de la barrette rompue, on constate donc un allongement final, qui se compose d'un allongement à peu près proportionnel à la longueur, et d'un allongement dû à la contraction de section, lequel peut être considéré comme une constante, quelle que soit la longueur de la barrette d'épreuve. Il en résulte donc que cette longueur a une grande influence sur l'allongement, mesuré en centièmes de la longueur primitive.

Des aciers très doux, contenant peu de matières étrangères, donnent des chiffres de résistance de 40 à 42 kilogrammes avec 26 à 28 p. o/o d'allongement, sur éprouvettes de 200 millimètres.

[1] Le coefficient ou module d'élasticité est, pour l'acier, supérieur d'environ un dixième au coefficient d'élasticité du fer.

La charge limite d'élasticité s'écarte peu de la moitié de la charge de rupture, principalement pour les aciers recuits. Elle est un peu supérieure à cette moitié pour les aciers non recuits, et, au contraire, bien inférieure pour le métal doux; la trempe a pour effet d'augmenter la charge de rupture.

[2] Le rapport de cette section de rupture à la section primitive s'appelle *striction*.

Il faut ajouter que le mode de fabrication et la composition chimique des aciers, c'est-à-dire leur teneur en carbone, manganèse, silicium et phosphore, exercent une grande influence sur les allongements.

Le recuit[1] et la trempe ont une grande influence sur les rapports des allongements.

Les essais à la traction ne sont pas toujours suffisants pour faire juger de la qualité des aciers; il est bon, surtout pour les tôles devant se forger, de leur faire subir, avant et après recuit ou trempe, des épreuves à chaud, des épreuves de pliage et de résistance au choc, dans le détail desquelles il serait trop long d'entrer.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons pas parlé des chiffres comparés de résistance et d'allongement sur le long ou le travers du laminage. Ces chiffres sont très peu différents pour l'acier ou métal fondu; cependant les épreuves en long donnent le plus souvent les meilleurs résultats.

Voici maintenant les chiffres qu'ont donnés les essais très nombreux qui ont été faits sur les aciers employés jusqu'ici en France pour la construction des chaudières à vapeur :

NOMS DES COMPAGNIES.		Charges de rupture.	Allongement pour 100 sur 200 millimètres.
		kilogr.	millim.
Compagnie d'Orléans.	1862-1863	62 à 73	7 à 10
	1864	60	9 à 12
	1866	54 à 62	10 à 17
	1873	58	17
Compagnie du Midi (quelques essais seulement). 1862-1863		60	13 à 15
Compagnie des Charentes. 1871		55	14 à 18
Compagnie de l'Ouest. 1872		52 à 55	15 à 18

[1] Le recuit a pour effet d'augmenter la douceur du métal, c'est-à-dire son allongement, tandis qu'il diminue la charge de rupture et la limite d'élasticité. Le recuit est nécessaire pour rendre la malléabilité aux pièces fortement écrouies par un travail mécanique.

Gr. VI. — Cl. 54.

Il faut remarquer que de grandes variations ont été trouvées dans les essais, ce qui dénote beaucoup d'irrégularité dans les qualités des aciers employés; si l'on considère que les allongements imposés par les cahiers des charges étaient beaucoup plus faibles, que les chiffres précédents représentent plutôt des moyennes, on arrive à s'expliquer très facilement les accidents qui sont arrivés, soit en cours de fabrication, soit en service.

La marine française a pris, de 1862 à 1864, des aciers fondus au creuset, analogues à ceux de la compagnie d'Orléans, les seuls que l'industrie pût alors livrer; mais elle a compris tous les services que pouvaient rendre les aciers doux, obtenus plus tard par les procédés Bessemer ou Martin-Siemens, grâce à l'addition finale, dans le bain, de fontes riches en manganèse. Ainsi, en 1872, elle demandait 45 à 52 kilogrammes avec au moins 18 p. o/o d'allongement, sur barrettes d'épreuve recuites à 200 millimètres de longueur; en 1874, les chiffres imposés devenaient 45 kilogrammes par millimètre carré et au minimum 20 p. o/o d'allongement en long ou en travers; et enfin, en 1876, une ordonnance ministérielle, dont les indications sont toujours en vigueur, prescrit de n'employer pour chaudière que des tôles donnant 40 à 42 kilogrammes, comme charge à la rupture, et un allongement *minimum* de 25 à 26 p. o/o, avec éprouvettes non recuites prises dans les deux sens du laminage.

De nombreux essais ont donné des résistances de 40 à 44 kilogrammes, des allongements moyens de 27 à 29 p. o/o, et très peu de rebuts, malgré l'application rigoureuse du cahier des charges.

On peut donc dire qu'aujourd'hui les aciéries françaises peuvent livrer régulièrement un métal fondu homogène très doux, qui convient bien à la construction des générateurs de vapeur, à la condition toutefois de prendre en cours de fabrication certaines précautions, assez minutieuses d'ailleurs.

Les accidents auxquels a donné lieu l'emploi de l'acier dans les chaudières sont attribués à trois causes principales :

Malléabilité insuffisante ;

Irrégularité dans la fabrication du métal ;

Mode de travail défectueux.

Il semble que les deux premières causes sont bien près de disparaître, grâce aux progrès incessants de la métallurgie; quant à la troisième, c'est affaire aux constructeurs de se plier aux nouvelles méthodes, de les perfectionner, de les rendre économiques. Tout semble faire prévoir que nos chaudronniers ne tarderont pas à suivre l'exemple qui leur est donné par leurs confrères de l'autre côté de l'Atlantique.

Les différentes feuilles de tôle constituant une chaudière sont réunies entre elles par des coutures faites au moyen de rivets.

Malgré tous les soins qu'on peut prendre pour exécuter la rivure, ces coutures sont des lignes faibles dans la chaudière, la résistance y est moindre qu'en pleine tôle; c'est le long de ces lignes que se manifestent les fuites et, le plus souvent aussi, les corrosions et les déchirures. Il y a donc un grand intérêt à réduire la longueur des coutures, c'est-à-dire à composer la chaudière de tôles de grande dimension.

Quelle est la mesure de l'affaiblissement apporté par les coutures? Quelles sont les meilleures dispositions et proportions à donner aux lignes de rivets? Il est assez singulier que ces questions ne soient pas encore résolues avec précision. On a des données certaines sur la résistance des tôles; on sait l'effort que peut sans danger supporter un corps de chaudière, sauf précisément suivant les lignes qui céderont les premières; on en est à peu près réduit à des conjectures pour la résistance suivant les rivures.

Des expériences d'un grand intérêt ont été faites; mais elles sont loin d'être assez nombreuses et assez variées, et le sujet reste encore obscur. Quant à la théorie, on ne peut lui demander qu'une approximation grossière, en l'absence de coefficients numériques convenablement déterminés.

S'il s'agit de rivures pour ponts ou charpentes, le problème est relativement plus simple; mais pour les chaudières il est compliqué par la nécessité d'assurer l'étanchéité des joints, ce qui conduit à rapprocher les rivets entre eux et des bords des tôles, et à exercer sur celles-ci un serrage énergique.

On sait depuis longtemps que la rivure à couvre-joint, et surtout

Gr. VI. — Cl. 54.

à double couvre-joint, offre plus de résistance que la rivure simple; qu'il en est de même de la rivure à deux rangs de rivets placés en quinconce; ces deux modes de couture, qui n'étaient guère entrés dans la pratique des ateliers, sont aujourd'hui de plus en plus en usage pour les joints devant résister à de grands efforts, comme les coutures longitudinales des chaudières de locomotives; pour les grandes chaudières à haute pression de la marine, on pose même les rivets sur trois rangées.

Quant à la main-d'œuvre de préparation et d'exécution de la rivure, il y a, sous ce rapport, de grandes inégalités entre les différents ateliers. On voit fréquemment des rivures fort mal faites; l'exposition collective des associations de propriétaires d'appareils à vapeur était très instructive à cet égard; mais aussi on trouvait au Champ de Mars un grand nombre de chaudières irréprochables comme rivure; à ce point de vue, certaines expositions de la Suède et de la Hongrie étaient remarquables.

Des progrès intéressants ont été réalisés dans l'exécution de la rivure; le foret est souvent substitué au poinçon, et les machines à forer percent avec une grande exactitude, très favorable à la solidité de l'assemblage. Les riveuses par pression hydraulique sont employées dans plusieurs ateliers importants; elles donnent un travail précis et régulier, un refoulement satisfaisant de la matière, et permettent d'employer des rivets de fort diamètre, ce qui est impossible avec le rivetage à la main.

Le rivetage de la tôle d'acier exige certaines précautions, inutiles avec la tôle de fer; cette question commence à être bien connue, grâce à des recherches approfondies auxquelles nous avons déjà fait allusion; il s'agit d'éviter autant que possible la trempe locale que les actions mécaniques violentes donnent à l'acier même très doux: les trous sont percés, ou tout au moins alésés, au foret; on évite le travail à froid, et au besoin on a recours au recuit; le mattage des joints exige aussi des soins particuliers.

Quelques chaudronniers ont essayé, non sans succès, de remplacer la couture au moyen de rivets par la soudure des bords de tôle; on voyait à l'Exposition des spécimens extrêmement remar-

quables de l'application de cette méthode. Le procédé n'est pas à son début, mais il a fait récemment de sérieux progrès; le tour de main qui le fait réussir est encore délicat et présente quelque incertitude. Si l'on pouvait parvenir à donner à cette soudure autogène une solidité égale à celle de la pleine tôle, il serait certainement d'un grand intérêt de remplacer ainsi les lignes de couture, qui affaiblissent les chaudières et sont le siège habituel de la plupart des accidents.

Des maîtres de forges exposaient des feuilles de tôle dont le bord était armé d'une surépaisseur venue au laminoir, et destinée à compenser l'affaiblissement local résultant de la rivure. Il y a là une tentative qui peut amener des résultats sérieux.

L'étude des défauts que présentent les chaudières, des détériorations qu'elles subissent, des accidents auxquels elles ont donné lieu, présente un intérêt de premier ordre.

A cet égard, l'Exposition de 1878 offrait une source abondante d'informations; la collection très complète fournie par les associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur constituait un véritable musée pathologique des chaudières.

Les principales maladies des chaudières, découvertes dans les nombreuses visites faites par ces associations, sont :

Les *pailles*, défauts de soudure assez fréquents, même dans les tôles de qualité supérieure; elles sont surtout dangereuses au coup de feu;

Les *cassures* et *fentes*, provenant de dilatations inégales ou de vices de construction; les fentes se produisent principalement près des clouures, et sont fréquentes lorsque, pour utiliser une chaudière insuffisante, on pousse le feu avec une activité excessive;

Les *corrosions extérieures*, une des détériorations les plus graves et les plus fréquentes; elles sont produites souvent par les acides contenus dans les fumées des houilles sulfureuses et se condensant sur les parties les plus froides des parois; plus souvent encore elles proviennent de fuites d'eau, qui rongent la tôle avec une rapidité extrême, ou de l'humidité dans les maçonneries du fourneau;

Les *corrosions intérieures*, sous les formes les plus diverses, se

Gr. VI. — Cl. 54.

portant de préférence sur les réchauffeurs ou parties froides de la chaudière;

Les *bosses* et *coups de feu*, qui se rencontrent d'ordinaire dans le voisinage de la grille, et sont fréquemment la conséquence de négligences dans le nettoyage ou dans la conduite du feu;

Les *défauts dans les rivures*, vices de construction fort graves, et qu'un peu d'attention apportée à la fabrication permettrait d'éviter;

Les *réparations mal faites*, plus dangereuses souvent que les détériorations qu'elles remplacent;

Les *incrustations* et *dépôts*, quelquefois d'une épaisseur énorme et aussi dures que la pierre; l'exposition dont nous parlons en présentait les échantillons les plus curieux; la localisation des dépôts en certains points de la chaudière rend quelquefois ces incrustations très dangereuses; accumulées près du foyer, elles occasionnent des coups de feu; parfois elles obstruent complètement le tuyau d'alimentation d'eau.

Le volume explicatif publié par les associations n'est pas moins intéressant; il donne sur chacun des objets exposés les indications les plus précises.

Pour terminer cet examen des défauts des générateurs, il est intéressant d'indiquer le nombre de ceux qui ont été constatés, en une année (1877), par les visites intérieures faites par quatre associations de propriétaires d'appareils à vapeur. Le tableau suivant fournit cette indication :

NOMS DES ASSOCIATIONS.	Chaudières en mars 1878.	Défauts en 1877.	OBSERVATIONS.
Association de Mulhouse.	1,428	567	
Association du nord de la France.	1,186	2,985	160 défauts dangereux.
Association normande.	450	452	
Association parisienne.	198	264	19 défauts dangereux.
TOTAUX.	3,262	4,268	

Pour 100 chaudières visitées, la proportion des défauts serait

approximativement de 130, ces défauts s'appliquant seulement aux générateurs proprement dits, et comprenant les pailles, soufflures, fuites, cassures, corrosions, obstructions, oxydations et très fortes incrustations. On arriverait à un chiffre bien plus élevé si l'on ajoutait les mauvais nettoyages, ainsi que les défauts trouvés, dans les visites extérieures, aux appareils de sûreté et aux accessoires de chaudières.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION II.

PRINCIPALES CHAUDIÈRES DE L'EXPOSITION.

Sommaire. — Dispositions générales de l'exposition des chaudières. — Défaut d'essais comparatifs. — Compétence du jury. — Division des générateurs en catégories. — Positions diverses des chaudières.

Générateurs à foyer extérieur. — Chaudière simple. — Chaudière à bouilleurs. — Chaudières de Boyer, d'Escher Wyss.

Générateurs à foyer intérieur. — Chaudières de Chevalier et Grenier.

Générateurs avec tubes calorifères. — Propriétés et construction. — Chaudières de locomotives, de locomobiles. — Foyer Garrett. — Tubes Bérendorf. — Tubes Girard. — Chaudières de Fives-Lille, de Séraphin. — Chaudières de Sulzer. — Chaudières semi-tubulaires de Meunier, de Le Brun, de Fontaine. — Système à foyer démontable. — Chaudières de Pantin, de Velliet, de Farcot, de Demenge.

Générateurs avec tubes à eau. — Chaudières de Belleville, de Mac Nicol, de Naeyer, de Barbe et Pétry. — Type Field. — Chaudières de Imbert, de Merryweather.

Chaudières mixtes et diverses. — Chaudières de Galloway, de Fouché et de Laharpe. — Autres chaudières.

Réchauffeurs et épurateurs. — Dépôts intérieurs. — Corrosions et dépôts extérieurs. — *Economiser* de Green, de Twibill, de David Green, de Sulzer. — Épuration chimique. — Filtres Letellier. — Épuration par chauffage. — Systèmes Dervaux, Belleville, Schmitz, Dulac.

Surchauffeurs. — Systèmes Tavernier, Moison. — Foyers de la *Leeds Forge C°*. — Chaudronnerie d'Imbert, de Durenne.

Nous allons aborder l'examen rapide des générateurs les plus remarquables qui figuraient à l'Exposition de 1878.

Ce champ d'études était aussi étendu que varié. Dans la section française, la vapeur était fournie à la galerie des machines par cinq groupes puissants de chaudières, répartis dans le parc, et présentant, par une singulière coïncidence, les cinq types les plus en usage comme générateurs fixes. Dans les sections étrangères, on voyait également en service les générateurs des formes les plus diverses; d'autres fonctionnaient sur la berge, pour actionner les pompes et grues de chargement; un certain nombre étaient répartis dans les divers pavillons élevés dans le parc; les deux grandes usines élévatoires du quai de Billy avaient leurs générateurs spéciaux;

un grand nombre de chaudières étaient exposées froides, tant dans le Palais que dans les annexes, les unes isolées, les autres combinées avec les machines motrices sous forme de locomobiles, mi-fixes, locomotives, etc.; enfin on voyait des dessins de chaudières, des photographies et quelques modèles à échelle réduite. Gr. VI. — Cl. 54.

Il eût été extrêmement intéressant d'appliquer à ces diverses chaudières les méthodes d'expérimentation précises et exactes qui sont devenues aujourd'hui d'une pratique courante. On aurait pu prendre des mesures de consommation, de vaporisation, d'entraînement d'eau, de débit d'air, faire les analyses des combustibles et des fumées, etc. Ces expériences, pratiquées sur le plus bel ensemble de chaudières variées qui ait jamais été réuni, exécutées par un personnel bien choisi, opérant par des procédés bien uniformes, eussent certainement donné des résultats comparatifs d'une plus grande certitude que les essais individuels faits sans contrôle sur des chaudières isolées. Nul doute qu'on eût pu en tirer des enseignements d'une valeur inappréciable.

Le jury de la mécanique générale a émis à cet égard un vœu formel pour l'avenir.

Mais les circonstances n'ont pas permis de faire ces études sur les générateurs de l'Exposition.

Conformément à la jurisprudence établie, le jury de la classe 54 n'a pas eu à examiner les chaudières affectées exclusivement à des industries spéciales; en pareil cas, la chaudière était considérée comme connexe avec l'appareil qu'elle alimentait, et déférée au jury de la classe à laquelle se rapportait l'industrie en question. C'est ainsi que les chaudières de locomotives pour chemins de fer ou tramways, de locomotives routières, les chaudières pour la navigation maritime ou fluviale, les chaudières de locomobiles purement agricoles, etc., échappaient à la compétence du jury de la classe 54; ces générateurs ne sont pas compris dans les études que nous allons entreprendre.

L'ordre qui sera suivi dans ces études résulte de l'importance

Gr. VI. — Cl. 54.

plus ou moins grande de l'un des éléments caractéristiques des générateurs, à savoir le réservoir d'eau. Dans les grandes chaudières fixes, à l'allure tranquille, au travail soutenu, le réservoir d'eau occupe un volume considérable par rapport à la surface de chauffe, et constitue un magasin de chaleur d'une grande capacité; si, au contraire, le travail doit être intermittent et de courte durée, le réservoir d'eau est réduit à de faibles proportions.

La classification fondée sur le volume du réservoir d'eau semble donc fort rationnelle, et l'on en verra découler tout naturellement et se ranger dans un ordre satisfaisant la plupart des types si variés des chaudières modernes.

Mais un grand nombre d'autres éléments entrent aussi en ligne de compte dans le choix des dispositions d'un générateur ayant à faire un service donné, et quelques-uns peuvent avoir parfois une influence prépondérante. Nous ne parlerons pas du rendement, qui, ainsi que nous l'avons dit, ne semble dépendre que d'une manière accessoire du système adopté; mais les questions de légèreté, d'emplacement en plan et en hauteur, celles de convenance, de voisinage, la nature des eaux et du combustible, l'instruction et l'habileté des chauffeurs, les idées particulières du constructeur et de l'industriel, ainsi que les moyens dont ils disposent, assez souvent même la mode, l'actualité et bien d'autres données difficiles à définir jouent parfois un rôle décisif, et pourraient au besoin servir de bases secondaires à une classification.

Sans nous arrêter davantage à ces considérations, nous diviserons les chaudières en cinq catégories :

1° Les chaudières à foyer extérieur, qui comportent le plus grand volume de réservoir d'eau;

2° Les chaudières à foyer intérieur;

3° Les chaudières tubulaires, avec parcours de flammes à l'intérieur des tubes;

4° Les chaudières tubulaires, avec parcours de flammes à l'extérieur des tubes.

D'une de ces catégories à l'autre le volume du réservoir d'eau va en décroissant; il est généralement très faible dans la quatrième.

Un grand nombre de chaudières se composent d'éléments com-

posites, se rattachant à la fois à deux ou plusieurs des catégories précédentes ; nous les classerons d'après leur caractère prédominant. Toutefois certains types ne pourraient être rangés rationnellement dans aucune de ces classes; nous les placerons dans la subdivision suivante : Gr. VI. — Cl. 54.

5° Chaudières mixtes et diverses.

Nous rencontrerons, dans presque toutes ces classes, des chaudières placées dans toutes les positions : verticales, horizontales, et plus ou moins inclinées. Certains constructeurs attribuent à la position de la chaudière des avantages ou des inconvénients particuliers, dont la valeur n'est pas toujours bien démontrée. La position horizontale ou presque horizontale est la plus ordinaire; cependant dans quelques cas, et notamment lorsqu'on est gêné par l'emplacement, la position verticale est absolument commandée, quand bien même elle entraînerait une diminution notable du rendement ou des difficultés d'entretien; c'est ce que l'on voit dans les forges, où les chaudières sont fréquemment verticales et sont chauffées par les flammes perdues des fours métallurgiques; ici d'ailleurs l'économie de chaleur passe au second rang.

Quelquefois aussi la position verticale ou inclinée résulte logiquement du système même de construction du générateur.

Après avoir examiné les chaudières en elles-mêmes, nous dirons quelques mots de certains accessoires se rattachant intimement aux générateurs, tels que les réchauffeurs et les épurateurs d'eau alimentaire; enfin nous terminerons par un coup d'œil jeté sur certains procédés de chaudronnerie, présentant un intérêt particulier.

Ces préliminaires posés, commençons par l'étude des *générateurs à foyer extérieur*.

Les chaudières de cette catégorie ont été employées dès l'origine de la machine à vapeur. Du temps de Watt, et même longtemps après lui, tant qu'on n'a fait usage que de très basses pressions, les chaudières étaient formées de parois planes ou concaves. L'emploi des moyennes et des hautes pressions a conduit à composer la chaudière de cylindres et de portions de sphères.

Gr. VI. — Cl. 54.

Sous sa forme la plus simple, la chaudière à foyer extérieur est composée d'un corps cylindrique unique, terminé à ses deux bouts par des fonds emboutis; elle tient alors beaucoup de place pour une faible surface de chauffe; aussi la trouve-t-on rarement employée, si ce n'est dans la position verticale. La chaudière cylindrique verticale avec chauffage extérieur est fort répandue dans les forges; elle est simple, tient peu de place en plan, et, moyennant certaines précautions, elle peut rendre de bons services.

D'ordinaire, la chaudière est horizontale, et, pour augmenter la surface de chauffe, on lui adjoint un, deux ou trois bouilleurs cylindriques, complètement entourés par les gaz de la combustion, et réunis au corps principal par de larges cuissards. Le tout est enveloppé d'un fourneau présentant trois ou quatre parcours de flammes.

C'est ainsi qu'est constituée la chaudière dite à *bouilleurs* ou *française*, qui, depuis de longues années, est le type le plus répandu dans les grandes manufactures de notre pays. Elle est simple de construction, d'une conduite facile à cause du grand volume de son réservoir d'eau; les entraînements d'eau sont faibles par suite de la grande surface du plan d'eau, et on les diminue encore par l'addition d'un dôme de vapeur élevé; enfin toutes les parties sont facilement accessibles pour le nettoyage, ce qui est d'une haute importance pour le rendement aussi bien que pour la sécurité.

Ce type donne partout de bons résultats; mais il est très connu et fort ancien. Est-ce la raison pour laquelle on n'en rencontrait à l'Exposition qu'un petit nombre de spécimens?

L'un des groupes de chaudières alimentant la galerie des machines de la section française était constitué par une paire de générateurs à bouilleurs, exposés par M. Boyer, de Lille, qui en avait étudié le projet, et construits par M. Villette. Chaque générateur se composait d'un corps cylindrique avec bouilleurs et de réchauffeurs d'eau d'alimentation latéraux, et présentait une surface de chauffe de 100 mètres carrés. L'adjonction à une chaudière cylin-

drique de réchauffeurs cylindriques n'est pas chose nouvelle : à l'Exposition de 1855, on voyait un spécimen remarquable de ce dispositif, présenté par la maison Farcot. Le jury a vivement apprécié la sagesse des combinaisons adoptées par M. Boyer, l'étude sérieuse et bien entendue de l'ensemble et des détails, ainsi que la bonne exécution. Ce groupe de générateurs représentait une excellente installation, propre à faire un service régulier et soutenu.

La force motrice, dans la section suisse, était fournie par une chaudière de bonne et solide construction, exposée par MM. Escher Wyss et Cie. Cette chaudière est munie du foyer incliné système Ten-Brinck. Elle est caractérisée par l'emploi de plusieurs corps cylindriques de diamètre moyen. Les bouilleurs sont formés de deux cylindres de 800 millimètres de diamètre, placés au-dessus du foyer. Après avoir chauffé ces deux cylindres, les gaz chauds se refroidissent sur des rangées horizontales de chacune trois bouilleurs-réchauffeurs, de 500 millimètres de diamètre. Le système est bien disposé et bien conçu : l'emploi de petits corps cylindriques permet de réduire l'épaisseur des tôles; la construction est simple et courante, les réparations et les nettoyages faciles.

Nous ne parlerons pas ici des avantages afférents au foyer Ten-Brinck, dont il sera question plus loin. D'après les constructeurs, la puissance de vaporisation serait de 9 kilogr. 500 par kilogramme de charbon de Saarbrück, et la quantité d'eau vaporisée serait de 12 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

Les générateurs à *foyer intérieur* sont adoptés concurremment avec ceux à foyer extérieur dans la plupart des manufactures; leur réservoir d'eau est un peu moins grand, mais aussi ils sont moins encombrants; les pertes résultant du rayonnement ont une moindre importance, mais la combustion se fait peut-être dans de moins bonnes conditions, à cause du faible volume de la chambre où elle se produit, de la présence au contact de la flamme des parois refroidies, et enfin des dimensions plus restreintes de la grille; en somme, comme l'ont bien prouvé les expériences de Mulhouse, les

Gr. VI. — Cl. 54.

proportions et la conduite du feu étant également bonnes, le rendement est à peu près le même.

Le corps cylindrique est nécessairement d'un grand diamètre, par conséquent plus épais; pour faciliter le raccordement avec le bouilleur intérieur, les fonds sont ordinairement plats, et par conséquent fortement armés. En somme, à égalité de surface de chauffe, la partie métallique est plus coûteuse que dans les chaudières à bouilleurs; par contre, le fourneau est moins important et moins cher; de sorte que, la question d'emplacement occupé mise à part, les prix de revient totaux s'équilibrent à peu près.

Généralement le système du foyer intérieur est combiné avec des retours de flammes extérieurs, et sous cette forme il est en faveur en Angleterre, sous les noms de *chaudière Lancashire* et de *chaudière Fairbairn*. Dans la chaudière Lancashire, deux bouilleurs intérieurs parallèles, contenant chacun une grille, sont compris dans une grande enveloppe extérieure; la chaudière Fairbairn comporte deux foyers cylindriques, contenus chacun dans un cylindre un peu plus large, entièrement plein d'eau, et ces deux cylindres communiquent, par des cuissards, avec un réservoir commun qui leur est superposé. Le système Fairbairn exige des tôles moins épaisses que le système Lancashire; de plus, il est moins exposé aux coups de feu par suite de manque d'eau; il est peut-être moins facile à visiter et à nettoyer.

MM. Chevalier, Grenier et Droux, de Lyon, ont exposé trois générateurs à deux foyers de systèmes différents, fournissant la vapeur à la première partie de la grande galerie française. Ils présentent une surface de chauffe totale de 420 mètres carrés.

Deux des générateurs sont du type très connu à deux foyers intérieurs, dont l'un avec chambre commune d'inflammation des gaz; tous deux sont pourvus de réchauffeurs latéraux.

Ce type de générateur est depuis longtemps apprécié: il utilise bien la chaleur, l'alimentation est méthodique et le nettoyage facile; le jury, voulant tenir compte aussi de l'excellente construction, a décerné une médaille d'or à ces exposants.

Le troisième générateur est d'une disposition nouvelle, imaginée

par M. Grenier : c'est une chaudière mixte, et si nous le décrivons à cette place, c'est pour ne pas scinder l'étude de l'exposition de cette importante maison. L'inventeur s'est proposé de réunir les avantages des foyers intérieurs avec ceux des petits corps cylindriques, tout en échappant aux inconvénients inhérents à ces deux systèmes. La chaudière dont il s'agit comporte d'abord un corps cylindrique court et de grand diamètre, renfermant, comme la chaudière de Lancashire, deux foyers intérieurs. Au sortir de ces foyers, les gaz se répandent et se mélangent dans une grande chambre à parois réfractaires, ayant pour objet de rendre la combustion plus complète; puis les fumées circulent, en léchant une série de tubes verticaux en tôle rivée, réunis haut et bas par des tubes longitudinaux; ils se refroidissent ainsi avant d'être jetés dans la cheminée. Ce système est tout récent; il paraît bien étudié; mais c'est à l'expérience à prononcer sur sa valeur.

Gr. VI. — Cl. 54.

La chaudière tubulaire, avec parcours de flammes à l'intérieur des tubes, a été imaginée par Marc Séguin en 1828, et appliquée pour la première fois d'une manière pratique sur la locomotive de Stephenson, *la Fusée*, qui dut à sa chaudière, à la fois légère et puissante, son immense succès au concours ouvert en 1829 pour l'exploitation de la ligne de Liverpool à Manchester.

Depuis cette époque, ce système de chaudières a été, exclusivement à tout autre, pratiqué pour les locomotives, et les ingénieurs de chemins de fer se sont attachés à en augmenter encore la puissance, la légèreté, la sécurité, et à en améliorer tous les détails. Cette longue suite d'études habiles et persévérantes a ainsi amené cette chaudière à un degré élevé de perfection.

Ce n'est qu'assez récemment qu'elle a été adoptée d'une manière courante pour les manufactures, et qu'elle a pu, grâce à des modifications ingénieuses et à l'emploi des condenseurs par surface, être introduite dans les appareils marins.

La chaudière de locomotive, type primordial et le plus répandu des chaudières tubulaires, se compose, comme on sait, d'un foyer, boîte carrée à parois métalliques, portant la grille à sa partie inférieure et enveloppée sur toutes ses faces d'une lame d'eau ; la paroi

Gr. VI. — Cl. 54.

antérieure est percée d'un grand nombre d'ouvertures, qui servent d'orifices à de longs tubes, parcourus par les flammes et débouchant en avant dans une boîte à fumée surmontée de la cheminée; le faisceau tubulaire est plongé dans la masse d'eau, contenue dans un corps cylindrique extérieur en forte tôle.

Comparés à la surface de chauffe, le volume extérieur de la chaudière et son poids sont très faibles; c'est là le caractère essentiel du système. Le volume du réservoir d'eau est également fort restreint, par conséquent la conduite du feu exige une attention très soutenue. Le réservoir de vapeur est petit, et la surface du plan d'eau a de faibles dimensions; on a donc à craindre des entraînements d'eau abondants; de plus, les variations du niveau d'eau sont rapides; par suite, le maintien de ce niveau nécessite une surveillance assidue de l'alimentation. Dans le faible volume d'eau constituant le réservoir, les dépôts se produisent avec une grande rapidité; en outre, l'intérieur de la chaudière est encombré de tubes, de tirants, d'armatures, et ses différentes parties sont difficilement accessibles; des nettoyages intérieurs très fréquents sont donc nécessaires, et ils sont pénibles et délicats à pratiquer. Quant aux nettoyages extérieurs, ils sont fort multipliés, et consistent surtout dans le ramonage des tubes, qui seraient, sans cette précaution, promptement obstrués par la suie.

Par cette énumération rapide des principales propriétés de la chaudière de locomotive, on voit que c'est un véritable outil de précision; il est puissant, léger, peu encombrant, mais il ne peut être confié qu'à des mains soigneuses et expérimentées; et la pratique a maintes fois prouvé que les chauffeurs malhabiles n'en tirent qu'un médiocre parti et sont exposés à le mettre, en très peu de temps, hors de service. Si cette chaudière a pu prendre pied et se répandre dans les ateliers, il faut attribuer ce fait à la nécessité, chaque jour plus impérieuse, d'économiser les emplacements, et aux progrès de l'éducation des chauffeurs.

En ce qui concerne le rendement, il semble que les dispositions des chaudières tubulaires soient toutes favorables à une bonne utilisation du combustible : le foyer est à l'intérieur, le volume extérieur est faible, donc les pertes par rayonnement doivent être mi-

nimes; la combustion en grande masse dans une chambre assez vaste doit se faire d'une manière satisfaisante; la forme tubulaire se prête à une communication bien complète de la chaleur des fumées à l'eau de la chaudière. Gr. VI. — Cl. 54.

Et cependant les expériences que nous avons plusieurs fois citées ne constatent, à ce point de vue, aucune supériorité bien marquée du type dont il s'agit. C'est là un des points obscurs que le jury eût vivement désiré voir étudier à l'Exposition sur quelques-unes des nombreuses chaudières tubulaires qui y fonctionnaient.

Si l'entretien des chaudières tubulaires est difficile, leur construction est aussi fort délicate : les armatures des fonds plats sont nombreuses, les raccordements des tôles nécessitent des emboutis de formes compliquées, et surtout les joints entre tubes et plaques tubulaires sont très multipliés et exigent une étanchéité parfaite, même sous de fortes pressions et sous les efforts dus aux dilatations inégales. En Europe, les tubes sont d'ordinaire en laiton étiré pour les locomotives; en Amérique, ils sont le plus souvent en fer; nos constructeurs adoptent fréquemment aussi le fer étiré pour les tubes de chaudières fixes et de locomobiles. L'assemblage des tubes calorifères avec les plaques tubulaires se fait par l'emboutissage à froid, obtenu au moyen de petits outils spéciaux; il est souvent complété, principalement du côté du foyer, par un anneau conique en acier, forcé dans l'extrémité du tube.

Le foyer est ordinairement en cuivre rouge, sur les locomotives européennes; l'acier pour cet usage n'a pas jusqu'ici donné de bons résultats; mais c'est peut-être là une question à revoir, car en Amérique, la plupart des foyers des locomotives sont en tôle d'acier et se comportent très bien. La tôle de fer est employée couramment chez nous pour les foyers de chaudières tubulaires autres que celles de locomotives.

L'entretoisement des parois latérales et postérieures de la boîte à feu intérieure et de la boîte à feu extérieure est assuré par des boulons filetés en cuivre rouge, rivés à froid sur l'une et l'autre paroi. Un perfectionnement récent consiste à percer ces entretoises, suivant leur axe, d'un petit canal percé par un bout : si une entre-

Gr. VI. — Cl. 54.

toise vient à se rompre, la fuite qui se produit par ce canal prévient le chauffeur.

L'armature du ciel du foyer est obtenue par de fortes poutrelles. Depuis quelques années, au lieu de faire porter les extrémités de ces poutrelles sur les parois verticales de la boîte à feu, ce qui tend à les écraser, on les fait reposer sur des consoles fixées à l'enveloppe extérieure de la chaudière, ou bien on suspend le ciel à cette enveloppe par des boulons; quelquefois la paroi supérieure de la boîte à feu extérieure est parallèle à celle du foyer, et entretoisée avec elle, comme le sont les parois verticales.

Tous ces modes de soutien, poutrelles, tirants, etc., sont fort compliqués; le dessus du foyer en est encombré, et le nettoyage devient fort difficile. On a essayé de supprimer ces inconvénients en donnant au foyer une rigidité propre; à cet effet, on le constitue au moyen de tôles ondulées. On voyait à l'Exposition quelques spécimens de ce dispositif; l'un deux, très remarquable, était appliqué à des chaudières construites par la maison Garrett, Richard et fils, de Saxmundham (Angleterre).

Les tubes servent d'entretoises entre les deux plaques tubulaires; mais leur dilatation, surtout s'ils sont en laiton, n'est pas la même que celle du corps cylindrique; il en résulte des efforts s'exerçant principalement du côté de la boîte à fumée, et qui déterminent quelquefois des désordres assez graves; on attribue à cette cause la corrosion, en forme de sillon, qui se produit fréquemment au pourtour de la plaque tubulaire d'avant. Cette question, comme d'ailleurs la plupart des effets des dilatations inégales dans les générateurs, est assez complexe, et aurait besoin d'être élucidée.

Dans les considérations qui précèdent, nous avons eu principalement en vue les générateurs, fort usités aujourd'hui, dont les proportions et dispositions se rapprochent de celles des chaudières de locomotives. Les difficultés que nous avons signalées se retrouvent, mais à un bien moindre degré, dans les chaudières de locomobiles, dont les dimensions et les surfaces de chauffe sont en

général beaucoup moindres. Ici le foyer est en tôle, généralement de forme ronde, ce qui permet de supprimer les entretoises latérales; le ciel est formé d'une simple calotte, libre ou soutenue par des tirants; la plaque tubulaire plate se raccorde avec les parois latérales par ses rives embouties. Gr. VI. — Cl. 54.

Dans ces chaudières, comme dans les précédentes, un nettoyage fréquent est nécessaire, et il est fort pénible. Un industriel possédant une locomobile ne peut songer à procéder comme dans les chemins de fer, c'est-à-dire à couper une partie des tubes à chaque grand nettoyage, et à les rabouter; il lui faudrait pour cela un outillage spécial et coûteux. Divers procédés ont été imaginés pour rendre les tubes facilement démontables. Le plus répandu est le système Bérendorf, qui a déjà figuré aux précédentes expositions: le tube est muni à ses deux extrémités d'emmanchements coniques de diamètres inégaux; une fois qu'il est en place, on exerce sur lui, au moyen de clefs spéciales, une traction longitudinale, qui le fait coincer dans des portées ajustées, pratiquées dans les plaques tubulaires; une traction en sens inverse, aidée de quelques coups de marteau, suffit pour le dégager. Le système Bérendorf, appliqué à quelques-uns des tubes qui composent le faisceau, permet de le dégager suffisamment pour donner accès à toutes les parties du corps cylindrique.

Dans le même ordre d'idées, M. A. Girard, de Paris, avait exposé, avec une série de chaudières d'excellente exécution, une chaudière tubulaire avec tubes amovibles à joints d'asbeste, d'une conception fort remarquable. Il sera intéressant de voir comment les joints de ce système se comporteront dans la pratique.

La Compagnie de Fives-Lille (Nord) avait installé, dans le parc, une usine pour fournir la vapeur à une partie de la section française; cette usine se composait de deux puissants générateurs tubulaires, en forme de chaudières de locomotives, chacun de 120 mètres carrés de surface de chauffe, avec injecteur d'air du système Turck, pour faire disparaître la fumée au moment du chargement. Ces chaudières étaient desservies par une cheminée unique en tôle.

Gr. VI. — Cl. 54.

Par leur bon dessin et leur excellente exécution, ces générateurs ont attiré l'attention du jury.

MM. Séraphin frères, de Paris, exposaient diverses chaudières qui ont fonctionné pour fournir de la vapeur à l'annexe de la berge et aux sections des États-Unis, de la Suède et de la Norwège. L'usine pour la section étrangère comprenait un générateur tubulaire de 130 mètres carrés de surface de chauffe, de la forme générale des chaudières de locomotives, avec addition de tubes Field dans le ciel du foyer.

Le système tubulaire est d'ordinaire disposé horizontalement. Quelques constructeurs ont jugé avantageux d'adopter la position verticale ou inclinée; la partie supérieure des tubes traverse alors le réservoir de vapeur, et constitue ainsi un surchauffeur plus ou moins complet. On en voyait à l'Exposition quelques exemples remarquables, parmi lesquels il convient de citer le groupe de générateurs qui fournissait la vapeur à la section suisse, et qui avait été construit par la maison Sulzer frères, de Winterthur (Suisse).

La chaudière de MM. Sulzer (fig. 1), d'un système nouveau, se compose d'un grand corps cylindrique, incliné à 45 degrés, avec foyer intérieur, grille Ten-Brinck et faisceau tubulaire traversant l'eau et le réservoir de vapeur. Les tubes parcourus par les gaz chauds sont mouillés par l'eau sur les six dixièmes de leur longueur, tandis que, sur une longueur moyenne de $1^{m},50$, ces tubes traversent la chambre de vapeur, ce qui procure une vapeur sensiblement sèche, à l'allure ordinaire de la machine. Après avoir traversé les tubes, les gaz circulent sur une partie du contour extérieur de la chaudière, puis ils achèvent de se dépouiller de leur chaleur au contact d'un réchauffeur d'eau d'alimentation fort bien disposé. Il résulte de constatations qui ont été faites en Suisse sur une chaudière analogue que la température des gaz brûlés était de 330 degrés à la hauteur du niveau d'eau, et que cette température n'était plus que de 230 degrés à la sortie du corps tubulaire. La vapeur avait été trouvée absolument sèche.

La pratique industrielle n'a pas encore confirmé la valeur de

cette chaudière, mais le service fourni pendant toute la durée de l'Exposition a été fort satisfaisant. Les constructeurs annoncent les chiffres suivants, résultant d'expériences faites avec le plus grand

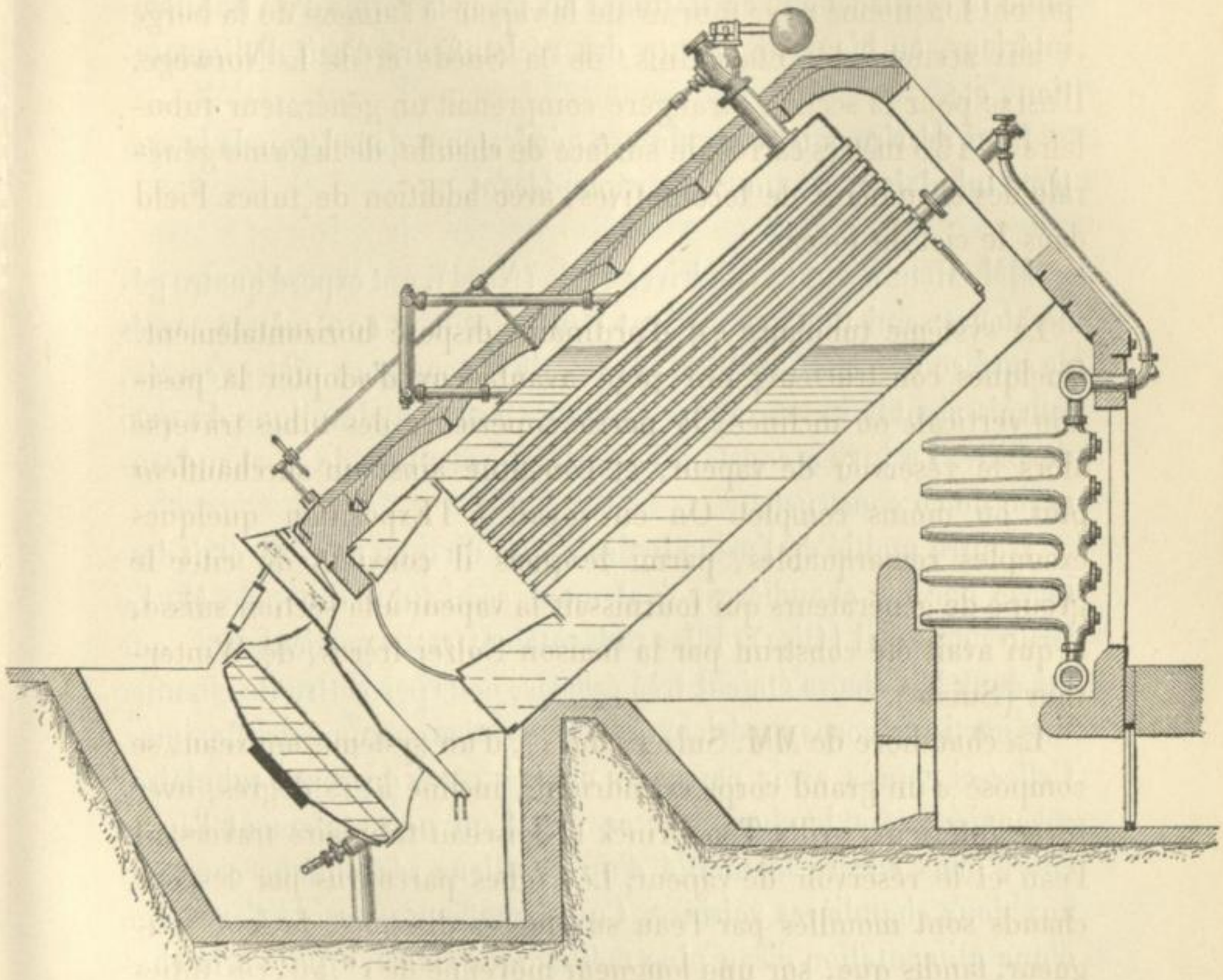


Fig. 1. — Chaudière Sulzer frères, de Winterthur.

soin sur une machine à deux cylindres de leur système, avec la chaudière tubulaire ci-dessus décrite :

Surface de chauffe par cheval indiqué.....	$0^{mq},63$
Consommation par mètre carré et par heure....	12^{k}, 5 d'eau.
Vaporisation par kilogramme de houille de la Saar, première qualité, sans déduction des mâchefers.	9^{k}, 5 de vapeur.

Le système tubulaire se combine assez souvent, pour les chaudières fixes, avec divers éléments, empruntés à d'autres systèmes;

Gr. VI. — Cl. 54.

parfois on cherche à rendre moins assujettissante la besogne du chauffeur, en augmentant, par l'addition d'un corps cylindrique, le volume des réservoirs d'eau et de vapeur; d'autres fois on simplifie la construction, en donnant au foyer la forme d'un bouilleur intérieur, ou bien l'on ajoute des réchauffeurs d'eau d'alimentation, etc.

Nous décrirons ici ceux de ces générateurs dans lesquels le système tubulaire joue un rôle prépondérant.

MM. Meunier et Cie, de Fives-Lille (Nord), ont exposé quatre générateurs semi-tubulaires, dont l'un présentait 100 mètres carrés de surface de chauffe; deux autres, de chacun 200 mètres carrés, fournissaient la vapeur à une partie de l'usine hydraulique du quai de Billy. Le jury a constaté la parfaite exécution de la chaudronnerie de ce constructeur.

L'autre moitié de l'usine hydraulique du quai de Billy était desservie par les chaudières, également semi-tubulaires, de M. Le Brun, de Creil (Oise). Elles présentaient cette particularité, que les deux bouilleurs étaient très écartés, pour permettre de chauffer une partie du corps supérieur dans le premier parcours des flammes. Celles-ci, après avoir parcouru un des côtés du corps tubulaire, revenaient vers la cheminée, en chauffant non seulement l'autre côté, mais encore la moitié d'un bouilleur réchauffeur commun aux deux chaudières voisines. Ce réchauffeur présente l'avantage d'une alimentation d'eau plus méthodique, mais, exposé à la chaleur d'un seul côté, lorsque l'une des chaudières est arrêtée, il peut donner lieu à des dilatations inégales qu'il est toujours bon d'éviter. Ces chaudières étaient remarquables par leur bonne exécution.

La maison Louis Fontaine, à la Madeleine-lès-Lille (Nord), avait exposé aussi deux générateurs semi-tubulaires, de 105 mètres carrés de surface de chauffe, qui alimentaient de vapeur la section d'Autriche-Hongrie. Ils avaient en plus deux réchauffeurs latéraux pour chaque chaudière.

L'un des plus graves inconvénients que présente le système tubulaire, c'est la difficulté du nettoyage. Nous avons vu comment

on a essayé de la tourner en rendant, par divers artifices, quelques-uns des tubes amovibles. Cette solution n'est que partielle, et le démontage des tubes, couverts d'incrustations et plus ou moins soudés par l'oxydation à leurs portées, ne laisse pas que d'être parfois fort pénible.

MM. Laurens, Thomas et Pérignon ont imaginé, depuis plusieurs années, de rendre amovible l'ensemble du foyer et de la tubulure; le foyer, de forme cylindrique, se termine par un cul-de-sac, qui sert d'origine à un faisceau tubulaire en retour : celui-ci entoure extérieurement le foyer et vient déboucher dans la plaque de devanture, laquelle communique par des carneaux avec la cheminée; cette plaque, le foyer et la tubulure forment un tout solidaire, appelé *vaporisateur,* assemblé avec le corps de la chaudière, ou *calandre,* au moyen d'un large joint tenu par des boulons. En démontant ce joint, on peut retirer le vaporisateur, visiter au jour et nettoyer sans peine toutes les parties exposées à se couvrir d'incrustations.

On remarque que la calandre n'étant réunie au vaporisateur que par un joint plan, les dilatations de ces deux éléments peuvent se produire d'une manière indépendante et sans fatiguer les assemblages.

Dans ces dernières années, ce système fort ingénieux a pris faveur, surtout à Paris, et différents constructeurs se sont attachés à atténuer les inconvénients qu'il présente : manœuvre pénible pour la sortie et la réinstallation du vaporisateur, difficulté de tenir le grand joint étanche, dimensions exagérées du corps extérieur, etc. Le type à foyer démontable est entré aujourd'hui dans la pratique et rend de fort bons services. L'Exposition en offrait plusieurs spécimens remarquables.

La Société centrale de construction de machines de Pantin (Seine), administrée par MM. Weyher et Richemond, a installé trois générateurs de ce système (fig. 2), représentant ensemble 200 mètres carrés de surface de chauffe, pour alimenter une partie de la galerie française des machines. Ces chaudières se composent de deux parties principales :

1° Le vaporisateur, partie amovible, comprenant le foyer inté-

Gr. VI. — Cl. 54

rieur, avec chambre de retour de flammes et faisceau tubulaire entourant concentriquement le foyer;

2° La calandre, formée d'un grand cylindre rempli d'eau, sur-

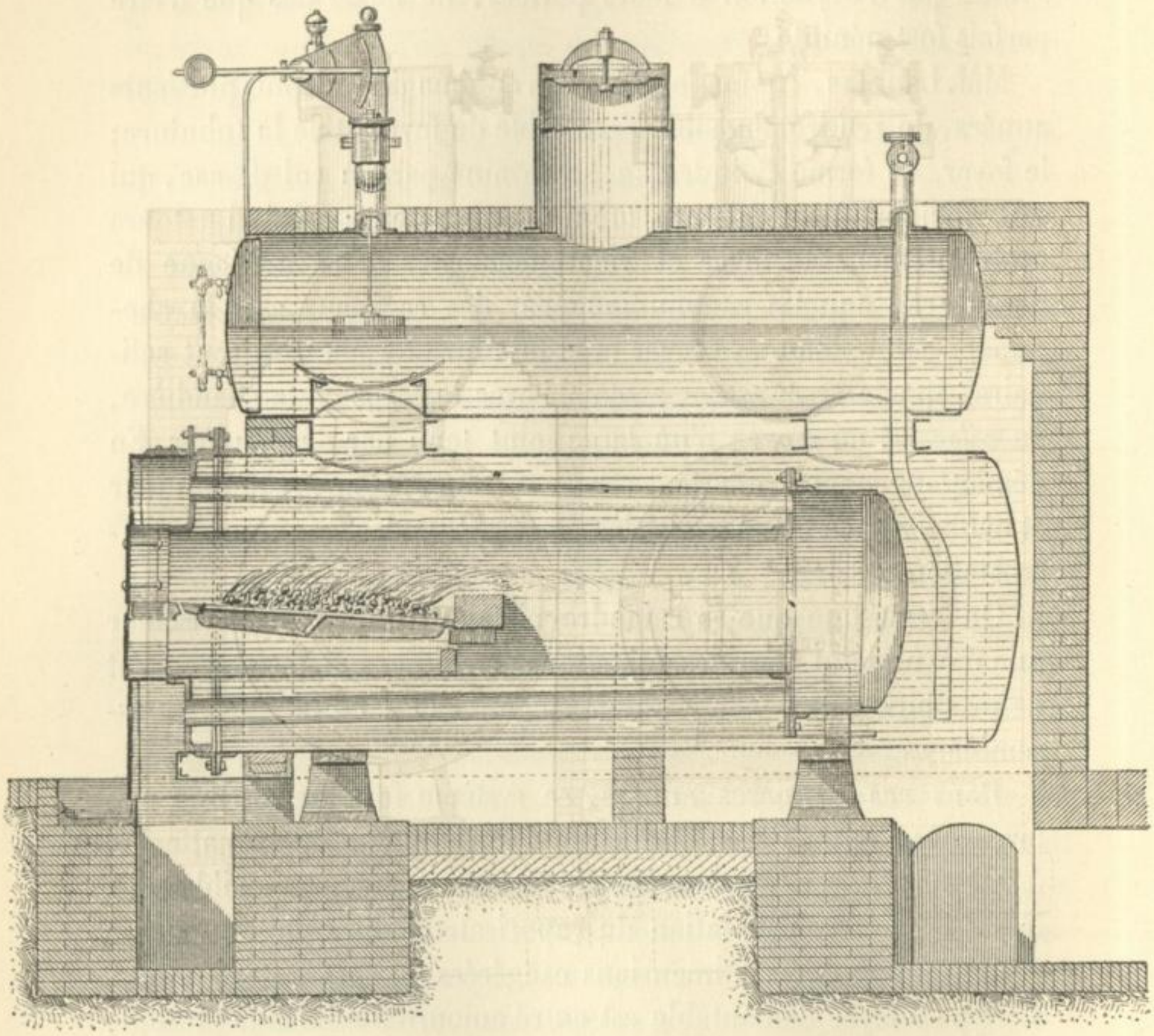
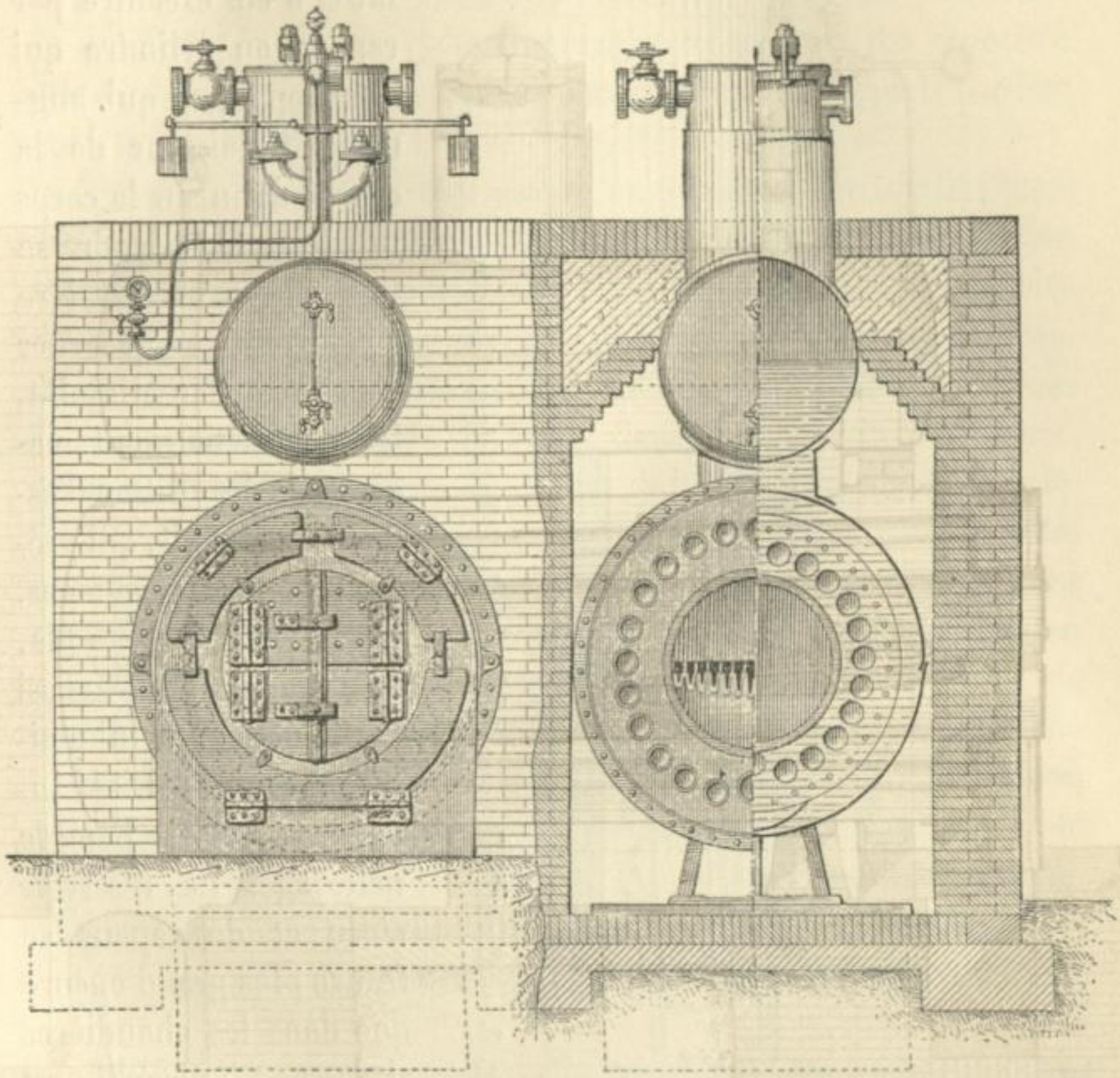


Fig. 2. — Chaudière à foyer démontable de la So

monté d'un cylindre plus petit, formant réservoir supérieur d'eau et de vapeur. Le vaporisateur et la calandre sont réunis l'un à l'autre par un joint unique circulaire, à brides et boulons sur rondelle de caoutchouc. L'expérience a démontré que cette rondelle peut servir longtemps et supporter plusieurs démontages, parce que le joint, étant extérieur, est suffisamment refroidi. L'addition du réservoir supérieur présente le triple avantage d'établir au-dessus

des tubes une hauteur d'eau qui éloigne la possibilité d'un coup de feu, de créer un réservoir d'eau fort utile, et enfin de réduire le diamètre de la calandre. Les manœuvres du vaporisateur sont ren-



Société de construction de machines, à Pantin.

dues relativement faciles, par un système de galets, sur lesquels il roule à l'entrée et à la sortie.

La puissance de vaporisation de ces chaudières atteint 24 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe intérieure.

Une autre disposition de la chaudière à foyer démontable a été exposée par MM. Velliet frères et Lescure, d'Amiens (Somme)

Gr. VI. — Cl. 54.

(fig. 3). Elle n'a pas de réservoir supérieur; mais le volume d'eau a été augmenté par l'allongement de la partie de la calandre qui dépasse le vaporisateur; celui-ci a été excentré par rapport au cylindre qui l'enveloppe, ce qui augmente l'épaisseur de la couche d'eau sur le corps tubulaire. La calandre se trouve avoir un diamètre assez grand; pour éviter d'augmenter aussi le joint, les constructeurs ont imaginé une disposition d'assemblage réduit, qui présente certains avantages.

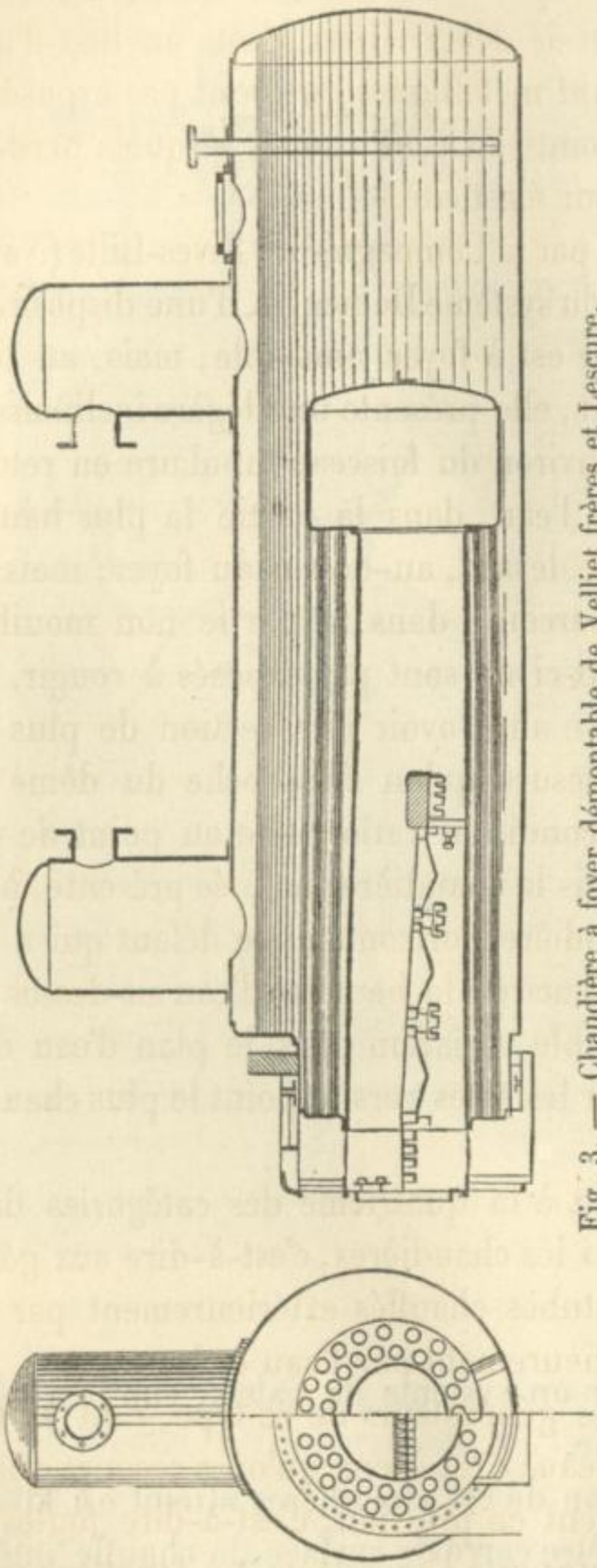


Fig. 3. — Chaudière à foyer démontable de Velliet frères et Lescure.

MM. Farcot et ses fils, de Paris, ont exposé aussi des générateurs tubulaires, à foyer et faisceau tubulaires mobiles pour le nettoyage. Le réservoir d'eau et de vapeur se trouve plus grand encore que dans les chaudières ci-dessus, puisqu'il est constitué par un corps cylindrique supérieur, de même diamètre que l'enveloppe du faisceau tubulaire. Pour obvier à l'inconvénient qui résulte de la solidarité de l'enveloppe avec les deux extrémités de la partie démontable, ces habiles constructeurs ont disposé, sur le pourtour du foyer intérieur, des joints à brides avec grands congés, qui donnent de

l'élasticité, tout en augmentant la résistance du corps cylindrique. Le système de foyers amovibles de M. Farcot présente la facilité de nettoyage qui a été signalée pour le système Laurens et Thomas, mais on est dans l'obligation de défaire deux joints au lieu d'un; il est vrai que ces joints, étant métalliques, ne sont pas exposés à l'usure que présentent les joints en caoutchouc, lesquels perdent à la longue une partie de leur élasticité.

Une locomobile construite par la Compagnie de Fives-Lille (Nord) était munie d'une chaudière du système Demenge, d'une disposition intéressante. Cette chaudière est à foyer amovible; mais, au lieu d'être posée horizontalement, elle présente une légère inclinaison. Il en résulte que la moitié environ du faisceau tubulaire en retour de flammes émerge hors de l'eau, dans la partie la plus haute, c'est-à-dire dans la partie de devant, au-dessus du foyer; mais les gaz arrivent à leur fin de parcours dans la partie non mouillée des tubes, de sorte que ceux-ci ne sont pas exposés à rougir. Le réservoir de vapeur se trouve ainsi avoir une section de plus en plus grande, au fur et à mesure qu'on s'approche du dôme de prise de vapeur; c'est une condition rationnelle au point de vue des entraînements d'eau; mais la chaudière inclinée présente, à un plus haut degré que la chaudière horizontale, le défaut qui a été signalé au sujet de l'insuffisance de la hauteur d'eau au-dessus du foyer intérieur. Une très faible variation dans le plan d'eau doit avoir pour effet de découvrir les tôles vers le point le plus chauffé.

Nous arrivons maintenant à la quatrième des catégories dans lesquelles nous avons réparti les chaudières, c'est-à-dire aux générateurs constitués par des tubes chauffés extérieurement par les flammes, et parcourus intérieurement par l'eau et la vapeur.

Le caractère essentiel des générateurs de ce type, c'est le très petit volume du réservoir d'eau; c'est à eux qu'on a recours quand il s'agit de monter rapidement en pression, c'est-à-dire toutes les fois que le service à faire exige que l'on soit prêt à fonctionner au premier signal.

A côté de cet avantage, d'une importance capitale dans bien des cas, ces générateurs présentent, mais à un plus haut degré, les

Gr. VI. — Cl. 54.

inconvénients des chaudières tubulaires : difficulté de maintenir la pression et le niveau de l'eau, entraînements d'eau très abondants, obstruction rapide par suite des dépôts, etc.

C'est à combattre ces inconvénients, qui s'étaient jusqu'ici opposés à l'emploi de ces sortes de chaudières, que la maison Belleville et Cie, de Paris, s'est attachée depuis une vingtaine d'années, avec une habileté et une persévérance dignes d'éloges. Disons tout de suite que les derniers modèles présentés par cette maison à l'Exposition ont eu un véritable succès.

La maison Belleville et Cie avait une exposition fort importante, comprenant des chaudières fixes, des locomobiles et des chaudières de diverses dimensions, des appareils accessoires, etc. Un groupe de trois générateurs, de 100 mètres de surface de chauffe chacun, était affecté au service de la force motrice, et établi vers le milieu de la galerie française des machines.

Décrivons l'un de ces générateurs, qui sont du type désigné par la maison sous le nom de *modèle de 1877*.

Il se compose (fig. 4) d'une série d'éléments indépendants les uns des autres, placés côte à côte, et dont le nombre et les dimensions varient suivant l'importance de l'appareil. Chaque élément est constitué par un certain nombre de tubes superposés d'environ 10 centimètres de diamètre, assemblés à l'aide de boîtes de raccordement. L'ensemble d'un élément forme une sorte d'hélice enroulée sur un prisme rectangulaire.

L'alimentation de l'eau se fait à la partie inférieure des tubes, au moyen d'un collecteur commun, disposé transversalement au-dessus des portes du foyer. En contre-haut du générateur se trouve un autre collecteur, qui réunit la vapeur fournie par les divers éléments. Tout le faisceau tubulaire est placé dans une enceinte en maçonnerie, au-dessus d'un grand foyer, occupant toute la surface horizontale de la chambre. Les gaz chauds s'élèvent en léchant la surface extérieure des tubes.

Voyons maintenant comment on a pu échapper aux divers inconvénients qui résultent de ce système.

Un des plus graves est l'eau entraînée mécaniquement par la vapeur produite, qui se dégage à la fois de toute la surface de ces tubes

étroits ; ceux-ci se trouvent remplis d'une véritable mousse semi-liquide, semi-gazeuse, qui les parcourt, sans que la décantation du

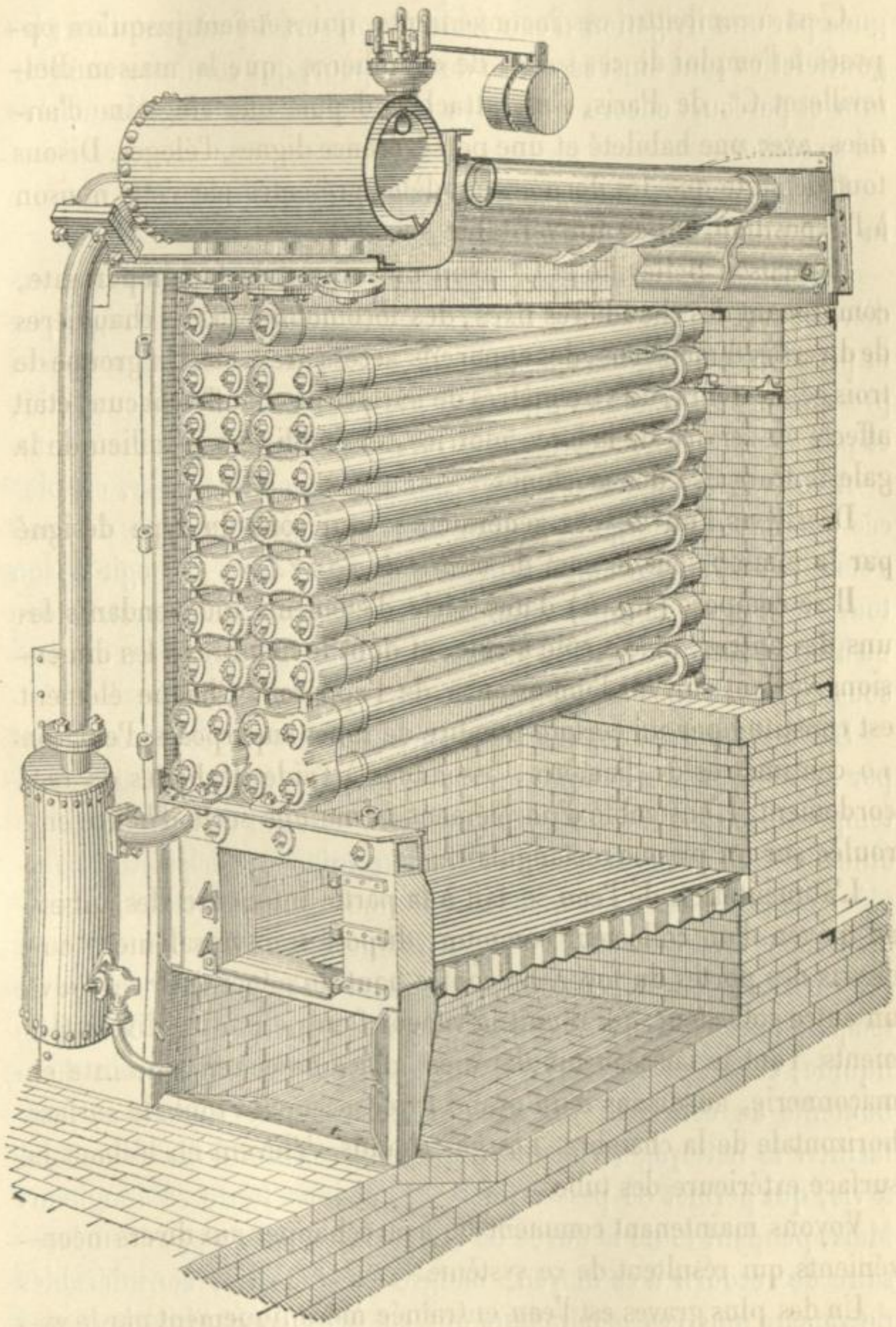


Fig. 4. — Chaudière de Belleville et Cie.

liquide ait le temps de se faire; c'est à l'état de mélange intime que l'eau et la vapeur arrivent dans le collecteur supérieur. Là le courant vient se briser contre une paroi courbe, constamment baignée par une irrigation d'eau froide, qui sert à l'alimentation; les gouttelettes sont ainsi séparées de la vapeur, qui continue son chemin et parcourt encore quelques tubes chauffés, où elle achève de se sécher.

Des moyens non moins ingénieux ont été appliqués pour obtenir la tenue de la pression et du plan d'eau.

Un piston spécial chargé d'un ressort est en relation avec la chaudière et sert à manœuvrer le registre; le tirage est ainsi réglé par la pression même qui règne à l'intérieur de l'appareil; dès que la pression dépasse sa limite normale, le registre se ferme en partie, et par conséquent l'activité de la vaporisation se trouve restreinte.

A côté de la chaudière, et en communication avec elle, est placée une haute et large bouteille, dans laquelle le niveau de l'eau s'établit; un flotteur suit les mouvements de l'eau, et agit à son tour sur la pompe à vapeur alimentaire, de manière à en restreindre ou à en augmenter le débit, suivant qu'il est au-dessus ou au-dessous de sa position moyenne.

L'eau d'alimentation, comme on l'a vu, est versée directement par la pompe dans le collecteur de vapeur; elle s'y échauffe à la température de l'eau de la chaudière et descend dans la bouteille alimentaire; l'échauffement de l'eau détermine la précipitation complète des sels calcaires qu'elle renferme; ces dépôts se rassemblent, sous forme de boue, à la partie inférieure de la bouteille, où l'eau n'a que des mouvements très faibles, et il suffit de purger de temps à autre pour se débarrasser complètement de ces boues. Le liquide, chaud et décanté, qui surnage se rend directement de la bouteille au collecteur inférieur d'alimentation. En outre, pour faciliter le nettoyage, chacun des tubes est muni d'un bouchon à vis, qui permet de passer un grattoir dans toute sa longueur. Mais, pendant toute la durée de l'Exposition, il n'a pas été nécessaire de recourir à ce moyen : malgré les quantités considérables de vapeur que ces générateurs ont eu à fournir, l'intérieur des tubes est resté à peu près exempt d'incrustations, et il semble

que le système de séparation des impuretés, dont nous avons esquissé le principe, a complètement atteint le but pour lequel il était établi. Du reste, d'une manière générale, le service fait à l'Exposition par les chaudières Belleville a été satisfaisant à tous les points de vue. La construction de ce groupe de générateurs, aussi bien que celle de toutes les pièces exposées par la maison Belleville, était fort soignée et abondait en ingénieux détails.

A côté des chaudières en feu figurait, dans l'exposition de la maison Belleville, toute une série de chaudières de numéros gradués, et des locomobiles de diverses dimensions, également fort remarquables.

Les chaudières que nous venons d'examiner offrent des avantages nombreux, indépendamment de la rapide montée en pression: par suite du faible volume des pièces résistant à la tension de la vapeur, elles peuvent marcher sans danger à des pressions élevées, et c'est là du reste leur allure normale; par la même raison, les explosions sont peu à craindre, et s'il s'en produit, le très faible volume du réservoir d'eau en atténuerait beaucoup la gravité; ces chaudières sont extrêmement légères, et occupent un emplacement très restreint, qui, en plan, ne dépasse guère le contour de la grille; enfin elles sont faciles à monter, et l'on peut les démonter en éléments de peu de poids, ce qui en rend praticable le transport dans les pays dépourvus de bonnes routes.

Au point de vue du rendement, nous ne connaissons pas d'expérience bien décisive qui permette d'affirmer la supériorité, pas plus que l'infériorité du système. Grâce aux artifices ingénieux mis en œuvre, le travail du chauffeur se réduit au chargement du foyer et à la surveillance générale de l'appareil; la pression et le niveau d'eau se règlent d'eux-mêmes. Peut-être y a-t-il quelques réserves à faire à propos de ces régulateurs *self-acting*, organes presque indispensables avec le type de chaudières dont il s'agit. Beaucoup de bons praticiens se refusent absolument à confier à des appareils automatiques des fonctions aussi capitales que celles de régler la pression et le niveau de l'eau, fonctions qui intéressent au premier chef la sécurité; ils veulent en pareil cas que l'œil du chauffeur soit toujours présent, que sa responsabilité soit con-

Gr. VI. — Cl. 54.

stamment en jeu. Il est possible que les nombreux insuccès auxquels ont donné lieu les essais d'alimentateurs automatiques soient pour quelque chose dans cette répugnance. C'est à une pratique prolongée à montrer quel degré de confiance il convient d'accorder aux dispositifs, si bien étudiés par la maison Belleville, et si le système tubulaire avec chauffage extérieur, qui s'impose de lui-même dans des cas assez nombreux, peut s'étendre avec avantage et sécurité même aux cas où il cesse d'être indispensable.

D'autres générateurs tubulaires figuraient à l'Exposition, se rapprochant plus ou moins de ceux de la maison Belleville et Cie; quoique, en général, moins bien entendus comme ensemble et moins soignés dans les détails de la construction, ils présentaient encore un intérêt sérieux.

Dans l'importante section belge, la vapeur était fournie par trois générateurs différents exposés par M. Mac Nicol, de Seraing, par MM. de Naeyer et Cie, de Bruxelles, et par MM. Barbe, Pétry et Cie, de Molenbeek-Saint-Jean; ils présentent ce point commun : que le rayonnement de la grille et le premier parcours des flammes chauffent des tubes remplis d'eau, légèrement inclinés sur l'horizontale, et qui sont en communication avec un ou plusieurs grands corps cylindriques supérieurs formant réservoir d'eau et de vapeur.

Dans la première chaudière, du système Sinclair, la série des tubes forme deux faisceaux, inclinés l'un de droite à gauche et l'autre de gauche à droite, lesquels faisceaux sont mis en communication de chaque côté par une caisse métallique, aboutissant aux deux extrémités d'un réservoir de vapeur supérieur et central, qui est lui-même en communication avec deux réservoirs d'eau latéraux.

La chaudière de MM. de Naeyer présente beaucoup d'analogie avec le générateur Belleville, avec cette différence principale, que, dans le corps tubulaire, entièrement placé au-dessous du plan d'eau, la vapeur monte directement par les boîtes vers le collecteur supérieur, de sorte qu'elle a moins de chemin à parcourir et que la réserve d'eau se trouve relativement plus grande.

Enfin, dans la chaudière de MM. Barbe, Pétry et Cie, on trouve deux faisceaux tubulaires distincts, trois caisses d'eau et un grand

corps cylindrique supérieur, constituant un ensemble compliqué, dont on ne voit pas les avantages.

Il convient de ranger, parmi les chaudières tubulaires à chauffage extérieur des tubes, les chaudières du type Field. L'élément essentiel est un tube vertical (fig. 5) fermé par le bas et ouvert par le haut, qui communique librement avec le réservoir d'eau; dans ce tube est disposé un autre tube mince, formant cloison, qui laisse autour de lui un espace annulaire; un certain nombre de tubes pareils sont fixés et suspendus à une tôle horizontale faisant partie des parois de la chaudière, et plongent dans les flammes du foyer.

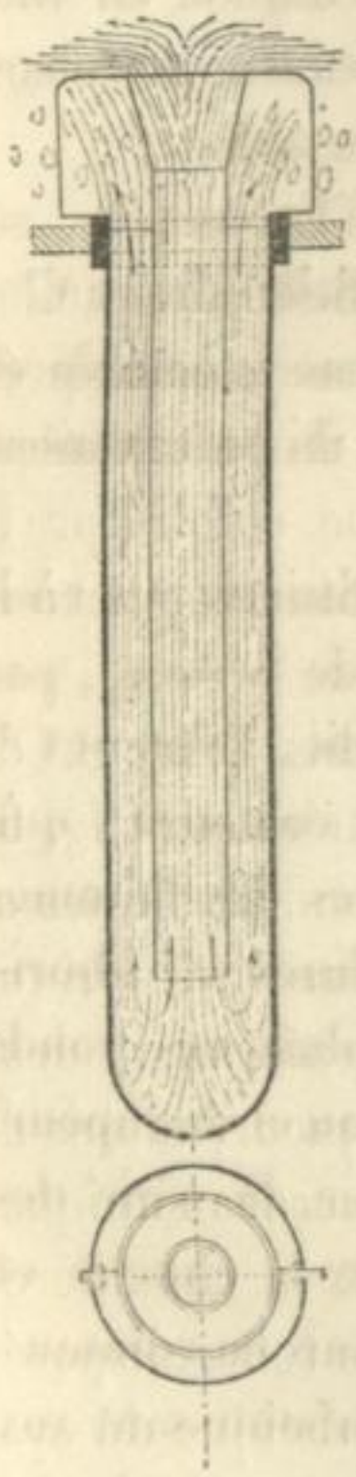


Fig. 5. — Tube Field.

La vapeur se dégageant dans l'espace annulaire détermine un appel rapide de l'eau contenue dans le tube central, et il s'établit une circulation énergique, qui va de haut en bas dans le tube intérieur, et de bas en haut dans l'espace annulaire.

L'invention du tube Field est déjà assez ancienne, mais la maison Imbert frères, de Saint-Chamond (Loire), a apporté, dans le détail des dispositions et de la construction, une série de perfectionnements intéressants.

Les propriétés générales de cette chaudière, comme celles de toutes chaudières de la même catégorie, découlent du faible volume du réservoir d'eau, avec ses avantages et ses inconvénients; il semble de plus que la circulation très rapide de l'eau dans les tubes donne plus d'efficacité à la surface de chauffe, et qu'elle contribue à empêcher les dépôts de se former sur cette surface. Ces tubes, n'étant tenus que par une extrémité, peuvent se dilater librement, sans compromettre la solidité des assemblages; le joint est fait de telle sorte qu'on puisse démonter et remonter un tube quelconque avec une extrême facilité.

Gr. VI. — Cl. 54.

Une des applications les plus remarquables de la chaudière Field est celle qui a été faite par la maison Merryweather et fils, de Londres, à ses pompes à incendie à vapeur, qui sont d'une légèreté remarquable et qui, quelques minutes après l'allumage, atteignent la pression de service.

Les chaudières Field ont mis à la mode l'idée de la circulation rapide de l'eau, et ce principe a reçu depuis de nombreuses applications.

Nous arrivons aux chaudières dans la composition desquelles entrent plusieurs des éléments qui caractérisent les systèmes précédemment décrits. Parmi les chaudières de type mixte exposées, décrivons en première ligne le magnifique groupe établi par la maison Galloway et fils, de Londres, qui fournissait la vapeur à la section anglaise.

Cette usine comportait trois générateurs pareils, chacun de 100 mètres carrés de surface de chauffe. Chaque générateur (fig. 6) a, comme disposition d'ensemble, la forme des chaudières dites *de Lancashire*, et se compose d'une enveloppe extérieure cylindrique de $2^{m},14$ de diamètre et de $8^{m},54$ de long, renfermant deux foyers d'un diamètre de $0^{m},84$ sur $2^{m},30$ de longueur, munis de grille. Ces deux foyers viennent déboucher dans un carneau unique, de section elliptique, qui traverse de bout en bout la chaudière, et dont les parois sont entretoisées par une série de tubes disposés en quinconce, lesquels constituent l'organe caractéristique du système.

Chacun de ces tubes est en tôle soudée à recouvrement, de forme conique, et muni de deux collerettes; le tube est introduit par l'ouverture pratiquée dans le haut du carneau, et les deux collerettes viennent s'appliquer et se river sur les bords des deux trous correspondants du carneau; l'enlèvement et le remplacement de ces tubes se font avec une grande facilité : il suffit de couper les têtes de rivet.

Ces tubes, léchés par les flammes, offrent une surface de chauffe très étendue, et déterminent dans la chaudière une circulation d'eau rapide. Les gaz chauds, au sortir du foyer, se répan-

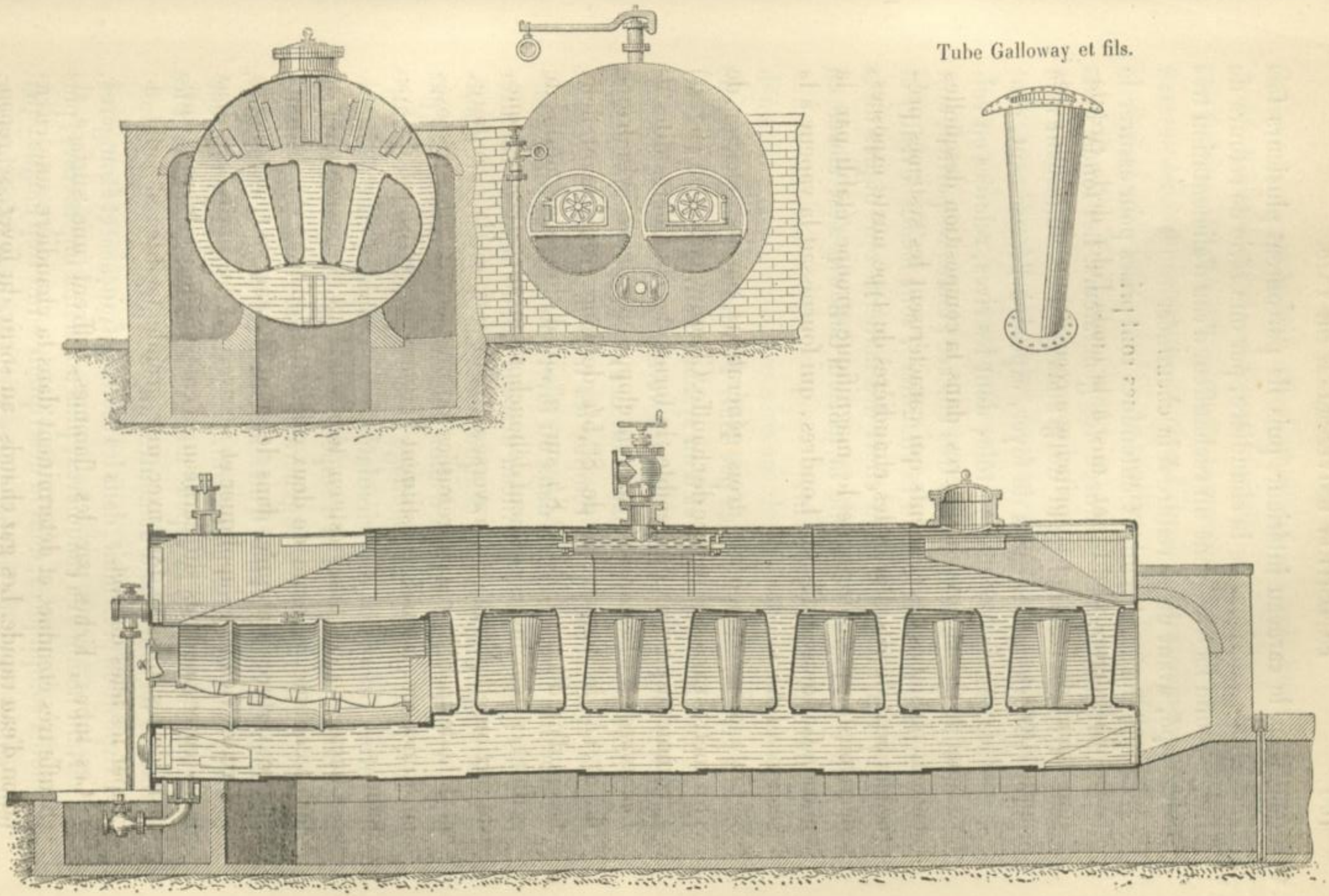


Fig. 6. — Chaudières Galloway et fils.

Gr. VI. — Cl. 54.

dent dans le carneau intérieur, puis ils parcourent plusieurs fois l'enveloppe extérieure de la chaudière, par une série de retours de fumée; enfin ils traversent un réchauffeur d'eau d'alimentation très développé, avant de se rendre à la cheminée.

Les précautions les mieux entendues sont prises pour assurer le bon fonctionnement et la durée des générateurs. Les fonds plats sont fortement consolidés par de grands goussets s'attachant à la paroi cylindrique; les tubes de foyer, exposés à l'écrasement, sont constitués par des viroles en tôle, dont les rives, relevées en collerettes, forment une armature très efficace ; toutes les parties, tant intérieures qu'extérieures de la chaudière, sont faciles à visiter et à nettoyer. L'exécution et le choix des matières sont dignes de la grande réputation à laquelle la maison Galloway s'est élevée en Angleterre et sur le continent.

Les générateurs présentés par MM. Fouché et de Laharpe, de Paris, sont bien construits et d'un système nouveau, à foyer intérieur horizontal, et corps tubulaire vertical, dont les tubes sont parcourus intérieurement par l'eau. Les constructeurs sont arrivés à cette combinaison pour remplir les trois conditions suivantes: 1° produire la combustion dans un foyer intérieur, et diriger ensuite les fumées dans un carneau descendant, de manière à assurer un chauffage uniforme en chaque point de la surface de chauffage; 2° faire circuler l'eau d'alimentation en sens inverse des gaz chauds, pour réaliser un chauffage méthodique; 3° produire, entre les parois chauffées, une circulation d'eau rapide, afin d'obtenir une grande vaporisation et d'empêcher ces parois de se couvrir rapidement d'incrustations. Le générateur renferme un sécheur ou surchauffeur de vapeur, formé d'un faisceau de tubes en U suspendus, pouvant ainsi se dilater librement. On retrouve ici la juste préoccupation d'obtenir de la vapeur aussi sèche que possible, dont les avantages ne sont plus à démontrer aujourd'hui.

L'Exposition présentait, dans les sections française et étrangères, un certain nombre de chaudières, plus ou moins ingénieuses, plus ou moins compliquées, dont la description serait trop longue; qu'il nous suffise de citer: les chaudières verticales avec tubes horizon-

taux ou verticaux de MM. Marshall Alfred et Cie, de Londres; celles de M. Rikkers, de Saint-Denis (Seine), avec tubes coniques en cuivre recourbés en U et plongés, comme les tubes Field, dans la flamme du foyer intérieur; la chaudière à serpentins intérieurs de M. Roser, de Saint-Denis (Seine); celle à tubes inclinés de M. Liénard-Benoit, de Sedan (Ardennes); le générateur elliptique de M. Roufosse, de Belgique, avec boîtes-carneaux garnies de tubes verticaux; la petite chaudière à tubes en cuivre inclinés de M. Bordone, de Paris; la chaudière verticale tubulaire de MM. Carnaire et Montellier, de Saint-Chamond (Loire); le générateur de MM. Victor Fourcy et Cie, de Corbehem (Pas-de-Calais), remarquable par sa bonne conception et sa belle exécution, etc. Mentionnons enfin, dans la section grecque, la chaudière de M. Basiliadès; elle est verticale à foyer intérieur amovible; c'est une bonne étude, dénotant une connaissance sérieuse des conditions que doit remplir un générateur à production rapide et de petit volume.

Nous allons examiner maintenant les réchauffeurs et épurateurs d'eau d'alimentation.

L'idée de réchauffer l'eau d'alimentation avant son admission dans la chaudière, en empruntant la chaleur soit aux fumées chaudes avant leur entrée dans la cheminée, soit à la vapeur d'échappement dans les machines sans condensation, est déjà ancienne.

Il y a fort longtemps que la maison Farcot disposait, à côté de ses chaudières, des séries de bouilleurs superposés, communiquant de l'un à l'autre par des cuissards, et parcourus de bas en haut par l'eau d'alimentation, tandis que les fumées les léchaient extérieurement suivant un parcours dirigé du haut vers le bas, de manière à réaliser un chauffage méthodique. Les conditions de marche des réchauffeurs ont été étudiées de très près, dans ces dernières années, par la Société industrielle de Mulhouse, et ces études, habilement conduites, ont beaucoup éclairé la question.

Au moment où elles arrivent au réchauffeur, les fumées sont déjà fort refroidies par leur contact avec la chaudière; par conséquent, l'écart des températures entre le courant liquide intérieur et

Gr. VI. — Cl. 54.

le courant gazeux extérieur étant assez faible, la chaleur passe lentement de l'un à l'autre. Pour que l'action du réchauffeur soit efficace, il faut d'abord que la surface de chauffe soit très développée, et que le chauffage soit méthodique; il faut en outre que les parois qui servent à la transmission de la chaleur soient tenues parfaitement propres sur leurs deux faces.

Le nettoyage est ici d'autant plus nécessaire que les dépôts ont une grande tendance à se localiser dans les réchauffeurs, plutôt que dans la chaudière; c'est ce que l'on voit facilement en examinant ce qui se passe, tant du côté du courant d'eau que du côté du courant de gaz.

L'eau d'alimentation, en parcourant le réchauffeur, s'échauffe progressivement; elle laisse donc se précipiter le sulfate de chaux et le carbonate de chaux qu'elle tenait en dissolution; comme la vitesse du courant liquide est très petite, les matières précipitées se déposent assez promptement; de sorte que, si l'action du réchauffeur est suffisante, c'est-à-dire si l'eau, vers la fin de son parcours, a une température peu différente de celle de la chaudière, le réchauffeur retient presque complètement les dépôts, qui ne se forment plus dans le générateur qu'en proportions minimes. Le réchauffeur joue donc le rôle d'un véritable épurateur de l'eau d'alimentation, et l'on tire bon parti de cette propriété pour la conservation et l'entretien des chaudières; mais, d'autre part, l'enlèvement de ces précipités abondants doit se faire assez fréquemment.

En second lieu, les fumées, rencontrant les parois froides du réchauffeur, y laissent déposer en grande abondance la suie qu'elles contiennent; en même temps se condensent les hydrocarbures et produits empyreumatiques, ainsi qu'une partie de l'eau en vapeur provenant de l'hydrogène de la houille; l'eau ainsi condensée dissout les acides sulfureux, acétique, etc., résultant de la combustion; de là des corrosions parfois très actives. Les nettoyages fréquents sont ici bien plus nécessaires encore que sur la face en contact avec l'eau d'alimentation; sans cette précaution, — et la pratique l'a bien démontré, — le métal serait promptement attaqué; mais, en outre, ainsi que l'ont prouvé les expériences de

Mulhouse, il suffit d'une couche de suie d'une faible épaisseur pour intercepter d'une manière presque complète le passage de la chaleur, et paralyser l'action du réchauffeur.

Nous avons vu les avantages que présentaient les chaudières avec réchauffeurs, fort usitées en France. Dans d'autres pays, on a donné la préférence à des réchauffeurs ne faisant pas partie intégrante de la chaudière, mais placés entre elle et la cheminée. Plusieurs systèmes de ces réchauffeurs ont figuré à l'Exposition.

L'*economiser Green,* exposé par la maison Green Edward et fils, de Wakefield (Angleterre), est très employé en Angleterre et sur le continent. Il se compose d'un faisceau de tubes verticaux en fonte, parcouru intérieurement de bas en haut par l'eau d'alimentation, et disposé dans une grande chambre en briques, dans laquelle les fumées arrivent par le haut; les gaz chauds s'étalent en couches horizontales, descendent peu à peu, en se refroidissant au contact des tubes parcourus par l'eau froide, et finissent par sortir par un carneau inférieur, qui les conduit à la cheminée.

Un système spécial de lames métalliques, attachées à des barres mues par des chaînes, sert à ramoner d'une manière continue l'extérieur des tubes.

Le chauffage de l'eau dans ces tubes a pour effet d'y amener le dépôt d'une partie des sels calcaires. C'est un avantage pour les chaudières, qui se tiennent ainsi plus propres. Le nettoyage des tubes à l'intérieur devient donc nécessaire, et on le fait en débouchant ces tubes par le haut.

Ces *economisers* ont une surface de chauffe deux ou trois fois plus grande que celle de la chaudière. Ils absorbent bien complètement la chaleur des gaz brûlés, et diminuent ainsi les pertes par la cheminée. L'emploi de ces appareils exige quelques précautions. Mais, lorsqu'ils sont bien construits et bien manœuvrés, ils ont un bon fonctionnement et procurent une notable économie.

Un autre *economiser,* celui de M. Twibill, de Manchester (Angleterre), repose sur le même principe. Seulement l'eau parcourt plusieurs siphons, léchés extérieurement par les gaz et qui finissent, avant d'entrer dans la chaudière, par laisser déposer leurs boues dans une chambre dans laquelle règne un repos relatif. L'emploi

de siphons comme *economisers* ne laisse pas que de présenter quelque danger : il peut se former de la vapeur dans les coudes supérieurs; cette vapeur refoule dans la chaudière l'eau contenue dans les branches verticales; le chauffeur peut ainsi être induit en erreur, et, croyant à un trop-plein, arrêter l'alimentation; qu'à ce moment il se produise, soit un refroidissement dans les tubes, soit un accroissement de pression dans le générateur, ce dernier se videra dans l'*economiser*, et un coup de feu est imminent.

Un autre réchauffeur d'eau a été exposé par M. David Green, de New-York, et présentait quelques dispositions ingénieuses.

Le réchauffeur de MM. Sulzer frères, dont nous avons eu l'occasion de parler plus haut, est composé de tubes coniques en fonte, disposés horizontalement et montés sur des conduites verticales; des cloisons intérieures assurent la circulation de l'eau. Le ramonage extérieur se fait par un jet de vapeur, et le nettoyage intérieur est facilité par des bouchons mobiles. L'ensemble est bien agencé et semble devoir fonctionner d'une manière satisfaisante.

Les réchauffeurs, lorsqu'ils sont bien établis, remplissent le rôle de véritables épurateurs de l'eau d'alimentation, et concourent dans une large mesure à réduire le nombre et la difficulté des nettoyages.

Empêcher les dépôts de se former, ou du moins de devenir nuisibles, c'est là une question fort importante, qui préoccupe à juste titre les industriels soucieux de la sécurité, de la bonne marche et de la durée de leurs chaudières. L'Exposition de 1878 n'a pas apporté à ce problème de solutions générales et applicables à tous les cas, et l'on devait s'y attendre; mais, en dehors des panacées universelles, prônées par les prospectus, et sur les quelles nous n'insisterons pas, il y a lieu de mentionner quelques tentatives sérieuses. Les procédés que nous allons examiner ne sont pas précisément des inventions nouvelles, ils reposent sur des principes connus et appliqués depuis longtemps; mais la mise en pratique ne laisse pas que de présenter de l'intérêt. Laissant de côté ceux qui consistent à mélanger des substances diverses à l'eau de la chaudière, dans le but d'empêcher les dépôts de durcir, procédés

sur lesquels nous aurons à revenir, nous trouvons des méthodes se rapportant à deux catégories : le traitement chimique et le traitement par la chaleur.

Le traitement chimique des eaux alimentaires se fait à froid et en dehors de la chaudière; il est depuis longtemps pratiqué sur une large échelle par diverses compagnies de chemins de fer. La difficulté n'est pas de trouver des réactifs qui déterminent la précipitation des sels en dissolution; la chaux pour les eaux carbonatées, le carbonate de soude pour les eaux séléniteuses, remplissent bien le but. Ce qui est difficile, c'est de doser exactement les réactifs, de telle sorte qu'il n'y en ait ni trop ni trop peu : un dosage insuffisant ne donne que des résultats incomplets, ou bien, si l'on a dépassé le but, le réactif en excès est souvent bien plus nuisible que les inconvénients qu'on cherche à éviter. Puis il s'agit de mélanger intimement les matières en présence, et enfin de séparer mécaniquement les précipités ténus et floconneux qui se sont formés. C'est là une opération délicate et coûteuse; on ne peut opérer que par décantation ou par filtrage. Mais la décantation exige des réservoirs de dimensions considérables, dans lesquels l'eau soit en repos à peu près complet. Quant au filtrage, la Société anonyme pour l'épuration et le filtrage des eaux, à Bruxelles, propose des filtres du système Letellier, composés de disques de feutre, enfilés sur des tuyaux perforés; malgré les dispositions ingénieuses imaginées pour faciliter le nettoyage et le démontage, il faudrait une expérience un peu prolongée pour pouvoir affirmer l'efficacité du système.

Nous avons déjà vu, à propos des *economisers*, l'épuration obtenue par l'échauffement des eaux. Ce moyen, lorsqu'il est applicable, présente pour les chaudières un avantage pratique incontestable: c'est que le réactif, la chaleur, est, dans ce cas, toujours prêt. Mais ici se présente, comme dans le traitement chimique, la difficulté de réunir les précipités, de les séparer de l'eau. On ne peut guère procéder que par décantation, c'est-à-dire dans des récipients très vastes, où les mouvements de l'eau soient presque

Gr. VI. — Cl. 54.

insensibles. Des tentatives nombreuses et bien connues ont été faites dans cette direction, et n'ont eu que des succès partiels et contestés. L'Exposition en voit de nouvelles, celles de Dervaux, de Belgique, et autres, sur lesquelles l'expérience n'a pas prononcé, puis la bouteille alimentaire de chaudière Belleville, qui semble donner de bons résultats. Les *economisers* offrent au contraire des conditions favorables à cette séparation, à cause de leur grand volume, qui est la conséquence de la surface de chauffe étendue qu'ils doivent offrir, pour être efficaces, au contact des fumées.

Si les précipités sont presque insaisissables au moment même où ils se forment, il en est tout autrement quand ils ont subi pendant un certain temps l'action de la chaleur qui règne dans la chaudière. C'est là un phénomène bien connu des chimistes : par l'ébullition, les particules solides en suspension s'agglomèrent, deviennent plus denses et se décantent rapidement.

Aussi, dans les chaudières, voit-on les dépôts se cantonner sur les points où l'eau est moins agitée. Quelques inventeurs ont tiré de cette observation un parti utile pour diminuer les incrustations : si l'on établit dans la chaudière un vase ouvert par le haut, et entièrement immergé, il est clair que l'eau contenue dans ce vase sera moins agitée que l'eau bouillonnante qui l'entoure, et que, par conséquent, les matières en suspension viendront de préférence se déposer dans ce vase.

Ce système est pratiqué depuis longtemps par M. Schmitz, de la Compagnie parisienne du gaz. MM. Dulac frères, de Paris, ont fait des recherches intéressantes dans le but de généraliser cette application.

Une chaudière Field, construite par MM. Imbert frères, a été mise en service dans l'annexe des pompes, pour recevoir l'application des appareils dits *tartrivores* de MM. Dulac. Le fonctionnement repose sur la circulation du liquide contre les parois chauffées et sur la séparation, par différence de densité, des particules solides que le chauffage a mises en suspension dans l'eau. Les inventeurs ont notamment appliqué ce principe à des tubes Field. Chaque tube pendant (fig. 7) est surmonté d'un cylindre en tôle mince simplement posé, au centre duquel se prolonge le contre-tube de

circulation. L'eau, venant des tubes Field, s'élève extérieurement le long des cylindres, pour prendre ensuite un mouvement descendant qui a pour effet de permettre aux matières en suspension de se déposer dans le tube tartrivore autour du contre-tube central. Les appareils de MM. Dulac frères ont déjà donné de bons résultats, et ces études sérieuses et de longue haleine méritent d'être mentionnées.

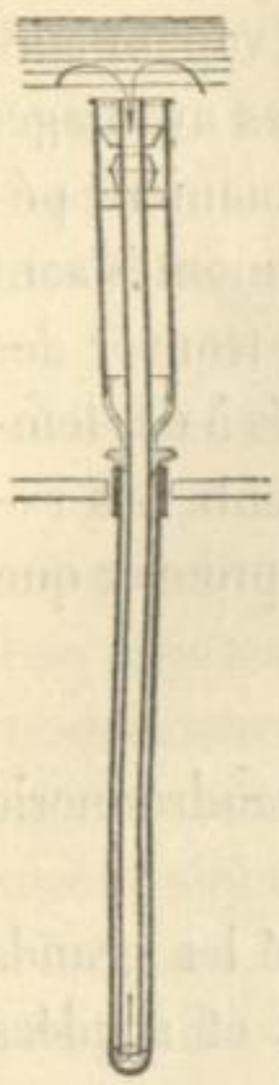


Fig. 7.
Tartrivore Dulac.

Arrivons maintenant aux appareils destinés à surchauffer la vapeur.

Les surchauffeurs de vapeur, distincts de la chaudière elle-même, n'étaient représentés dans la classe 54 que par un petit appareil de M. Tavernier, de Paris, en fonction sur la chaudière Field exposée par MM. Imbert et Dulac.

Cet appareil était composé de tubes en fer, pendants et à double circulation comme les tubes Field, fixés sur une boîte en fonte, et plongés dans la chambre de combustion, à la hauteur du faisceau tubulaire de la chaudière. La vapeur circulait sur les parois de chauffe par couches minces d'un centimètre d'épaisseur, disposition évidemment très favorable pour le chauffage, mais qui, par contre, a pour effet d'augmenter les résistances, et par suite les pertes de pression.

Le petit surchauffeur Tavernier, de 30 décimètres carrés de surface de chauffe, alimentait un souffleur Kœrting, dont l'ajutage avait 3 millimètres de diamètre. L'élévation de température de la vapeur était, dit-on, de 40 à 80 degrés.

La température de la surchauffe doit être réglée avec soin, sous peine de brûler les garnitures et de faire gripper les pistons et tiroirs. M. Moison, de Mouy (Oise), a présenté des appareils, dits *thermo-régulateurs*, ayant pour but de limiter automatiquement la température de la vapeur surchauffée, de telle sorte qu'elle ne dépasse pas de plus de 30 à 40 degrés la température de la vapeur dans la chaudière. Ces appareils sont basés sur la dilatation d'un

Gr. VI. — Cl. 54.

corps solide ou liquide, qui produit un mélange, dans les proportions voulues, de la vapeur surchauffée et de la vapeur humide.

Peut-être est-il à regretter que cette question de la vapeur surchauffée n'ait pas donné lieu à plus de recherches. Les avantages de la surchauffe sont démontrés par la théorie d'une manière péremptoire; les obstacles qui jusqu'ici n'ont pu être surmontés sont d'un ordre purement pratique; il s'agirait surtout de trouver des matières lubrifiantes, qui conservassent leurs propriétés à des températures plus élevées que celles pratiquées couramment. Les expériences, déjà fort anciennes, de Perkins semblent prouver que la solution n'est pas impossible.

Mentionnons, pour terminer, quelques pièces de chaudronnerie qui ont appelé l'attention du jury.

Dans la section anglaise, on a beaucoup remarqué les grands tubes système Fox pour chaudières en tôle ondulées et soudées de la *Leeds Forge Company* (fig. 8).

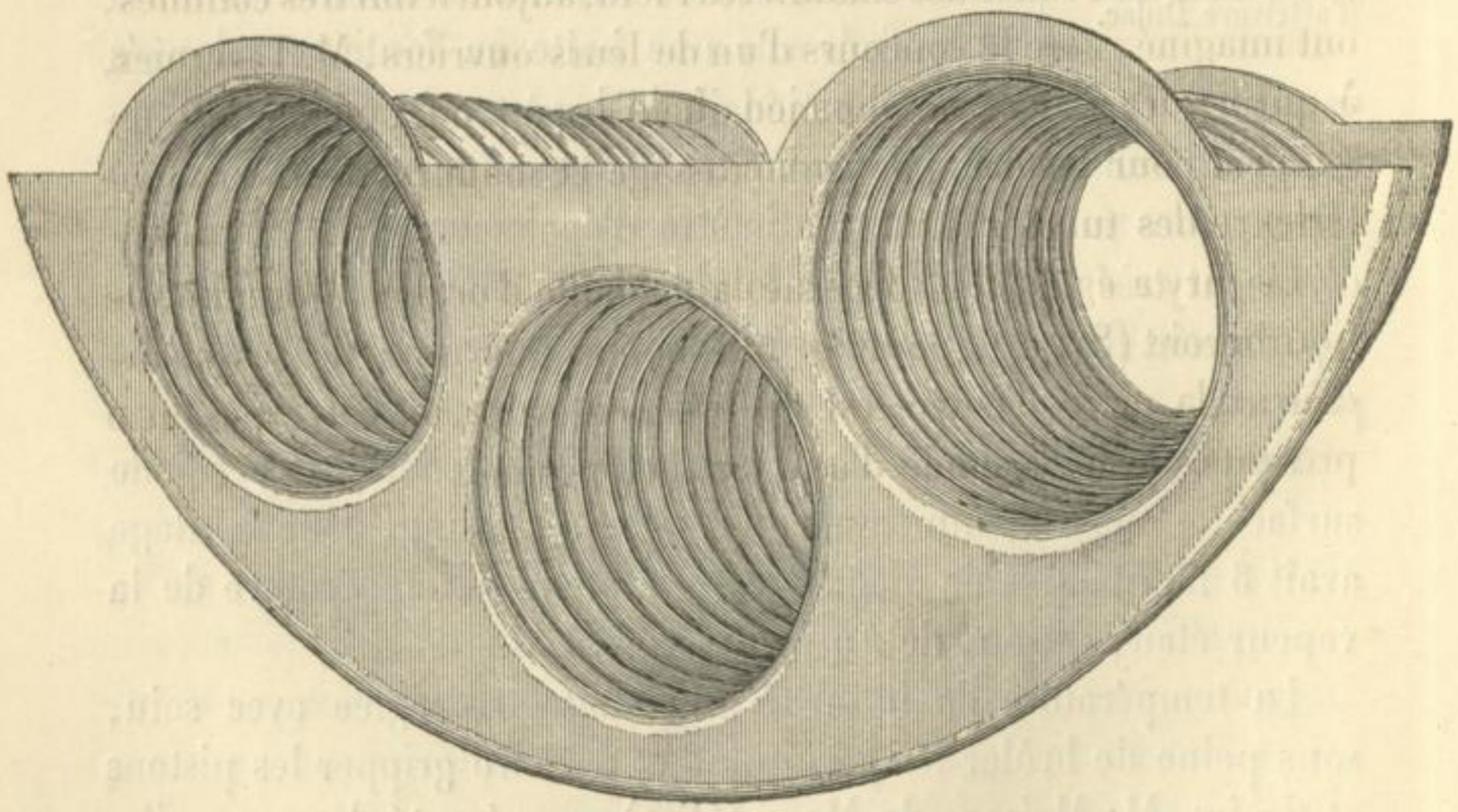


Fig. 8. — Tubes-foyers. Système Fox.

Ces pièces, en raison de leur forme spéciale, ont une élasticité de beaucoup supérieure à celle des cylindres généralement em-

ployés, tout en présentant plus de résistance à la pression, même avec des tôles plus minces. Les ondulations rendent la surface de chauffe plus grande sous un même volume, et plus effective, en permettant un dégagement plus rapide de la vapeur. De là une augmentation dans le rendement. Les certificats qui ont été présentés au jury sur la qualité des tôles de fer, et les bons résultats que l'emploi des tubes ondulés a fournis dans les chaudières, ont fait accorder une médaille d'or à cette compagnie.

MM. Imbert frères ont exposé des spécimens de chaudronnerie très remarquables, en tôle soudée, qui leur ont valu une médaille d'or. Déjà, en 1867, des produits similaires, exposés par les mêmes constructeurs, avaient été fort appréciés. Des progrès importants ont été accomplis depuis lors par ces habiles industriels, qui fournissent aujourd'hui des chaudières spéciales sans aucune rivure, présentant, dans bien des circonstances, de sérieux avantages, puisqu'elles suppriment les fuites qui se manifestent trop souvent par les pinces et par les rivets. Les mêmes constructeurs, concessionnaires en France des chaudières Field, aujourd'hui très connues, ont imaginé, avec le concours d'un de leurs ouvriers, M. Tavernier, à qui le jury a décerné une médaille d'argent, un système très ingénieux pour former, par emboutissage et soudure, l'extrémité inférieure des tubes Field.

Le jury a également décerné la médaille d'or à M. Durenne, de Courbevoie (Seine), pour la très bonne exécution de ses chaudières; la main-d'œuvre est du premier ordre, et cet exposant a présenté un foyer soudé d'une fort belle venue.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION III.

ACCESSOIRES DE CHAUDIÈRES.

Sommaire. — *Manomètres.* — Manomètres de Bourdon, de Casse, de Dedieu, de Guichard, de Dupuch, de Ducomet, de Desbordes, de Mathieu, de Hopkinson, d'Edson. — Travaux de Bougarel.

Indicateurs de niveau. — Tube de niveau. — Tubes de Martin, de Moncrieff. — Porte-tube de Damourette. — Flotteurs. — Indicateurs magnétiques de Lethuillier et Pinel, de Perrotte et Tatin. — Sifflet d'alarme. — Indicateur de Chaudré. — Appareils enregistreurs et contrôleurs.

Alimentateurs. — Bouteilles alimentaires. — Pulsomètre de Hall. — Alimentateurs de Belleville, de Mariolle, de Cleuet, de Davoux. — Injecteurs de Giffard, de Turck, de Flaud et Cohendet, de Vabe, de Cuau, de Hancock. — Pompe de Chiazzari.

Condenseurs éjecteurs de Morton, de Nathan et Dreyfus, de Brossard, de Legat.

Conduites de vapeur. — Tuyaux de Russell, de Brand et Lhuillier, de Haller. — Purgeurs de vapeur de Geneste et Herscher, de Corpet et Bourdon, de Legat.

Robinetterie. — Robinet à garniture d'amiante de Mallinson. — Robinetterie de Danks.

Régulateurs de pression de Geneste et Herscher, de Giroud, de Legat. — Thermo-régulateurs de Moison. — Outil d'épreuve de Goria. — Tartrifuges. — Calorifuges. — Enveloppes isolantes en liège. — Isolateurs de Dégremont, de Magniat.

Nous examinerons successivement, dans cette section, les divers accessoires des chaudières, en y rattachant certains organes, un peu différents comme objet, mais qui s'en rapprochent tellement, comme dispositions et comme construction, qu'il serait difficile de les en séparer. Commençons par les manomètres.

Les habitudes de précision qui sont aujourd'hui répandues dans la plupart des ateliers rendent chaque jour plus général l'usage d'instruments exacts destinés à mesurer la pression des fluides. Aussi, depuis l'Exposition de 1867, le nombre des machines dans lesquelles on fait emploi des manomètres s'est considérablement augmenté. Ces appareils sont appliqués aux chaudières à vapeur, conformément aux prescriptions des ordonnances administratives; la plupart des machines à condensation sont munies d'un indica-

teur du vide, constamment placé sous les yeux du mécanicien; les manomètres sont en usage pour les presses hydrauliques, dans les applications déjà fort nombreuses de l'air comprimé ou dilaté, dans les sucreries, etc. Gr. VI. — Cl. 54.

En outre, les industriels deviennent tous les jours plus soucieux de connaître à chaque instant les conditions de marche de leurs machines et de leurs chaudières, et ils installent fréquemment des manomètres de contrôle.

Les manomètres dans lesquels la pression est mesurée par la diminution de volume de l'air confiné, ou par la hauteur d'une colonne de mercure, sont à peu près entièrement abandonnés, sauf pour certains cas tout à fait spéciaux; ils présentaient des inconvénients nombreux, et ont cédé la place aux *manomètres métalliques*, dès que ces derniers ont présenté une exactitude et une sûreté de fonctionnement suffisantes. Plusieurs maisons construisent aujourd'hui des manomètres métalliques qui ne laissent rien à désirer. Malheureusement il n'en est pas toujours de même; et il n'est pas rare de voir des manomètres qui, faute d'entretien ou d'une bonne exécution, donnent des indications absolument inexactes, et les procès-verbaux de visite dressés par les ingénieurs des associations de propriétaires d'appareils à vapeur fourmillent de constatations de cette nature. Il n'est pas hors de propos de rappeler ici que tout manomètre, même d'excellente fabrication, doit être de temps à autre vérifié par comparaison avec un étalon bien exact.

Les différents systèmes de manomètres n'ont guère changé depuis quelques années; les dispositions consacrées par la pratique ont été conservées. On ne trouvait pas à l'Exposition de 1878 un manomètre réellement nouveau; tout se bornait à des améliorations de détail, qui d'ailleurs ont une importance sérieuse. On retrouvait les tubes métalliques de Bourdon, les capsules métalliques de Ducomet, les diaphragmes métalliques et les tubes plissés de Vidie, les diaphragmes en caoutchouc de Gali-Cazalat.

Les manomètres à tubes métalliques sont les plus répandus. On sait que l'organe essentiel de ce type de manomètre est un tube à section méplate, cintré sur sa longueur, et qui se redresse plus ou moins suivant les variations de la pression intérieure; les mouve-

Gr. VI. — Cl. 54.

ments de l'extrémité libre du tube, convenablement amplifiés au besoin au moyen de leviers et d'engrenages, peuvent donc servir de mesure à cette pression. Une variante intéressante de la forme cintrée est le tube tordu en hélice, qui se détord quand la pression intérieure augmente; cette disposition a été imaginée par M. Bourdon père, qui l'a appliquée à la construction de thermomètres, de manomètres et d'indicateurs de Watt.

Le métal employé à la confection des tubes est généralement le laiton, et, pour des applications spéciales, le maillechort, l'acier et même l'argent et le platine. Les tubes en acier, dont la fabrication a été très perfectionnée dans ces derniers temps, ont permis de construire, pour les presses hydrauliques, des manomètres allant jusqu'à 2,000 atmosphères; ces manomètres sont composés de plusieurs tubes elliptiques, cintrés et emboîtés les uns dans les autres.

M. Édouard Bourdon, de Paris, présentait une série très complète de ses modèles de manomètres et indicateurs du vide, en usage dans l'industrie, pour mesurer les pressions d'air, de gaz, de vapeur ou d'eau; puis des appareils destinés à des usages spéciaux, tels que : avertisseurs électriques, manomètres combinés pour le vide et la pression, manomètres à cadrans lumineux ou à plusieurs cadrans, enregistreurs donnant, par une courbe continue tracée sur un disque de papier, la trace des variations de la pression, etc., enfin un grand manomètre indicateur et enregistreur de la pression, étudié en collaboration avec M. Rédier; ce dernier appareil permet d'obtenir, avec un tube de petite dimension, l'indication de la pression à distance, sur un cadran de grand diamètre, ainsi que le tracé très visible et amplifié de la courbe des pressions. On remarquait aussi une collection de toutes les formes successives que M. Bourdon père a successivement essayées pour ses tubes : la section elliptique employée en tubes simples ou multiples, ces derniers agissant comme des ressorts à plusieurs lames; la section concavo-convexe et biconcave; la section en forme de croix, pour les tubes tordus en hélice. Cette belle exposition, digne en tout de la réputation de la maison Bourdon, a été fort admirée par le jury et a valu à son auteur une haute récompense.

Les maisons Casse, de Paris, Dedieu, de Lyon, Guichard et

Cie, de Paris, et Dupuch, de Paris, présentaient différents modèles, fort bien établis, de manomètres à tubes métalliques. MM. Guichard et Cie exposaient en outre un appareil appelé *hydromètre Decoudun*, destiné à donner, à distance, l'indication de la hauteur d'eau dans un réservoir. Il se compose d'une cloche renversée, fixée au fond du réservoir; l'air contenu dans cette cloche est plus ou moins comprimé, suivant la hauteur de l'eau, et ses variations de pression sont transmises, au moyen d'un tube de caoutchouc, à un manomètre sensible, disposé dans le lieu d'observation. L'idée est ingénieuse et peut trouver son application dans un certain nombre de cas; cependant la régularité de fonctionnement d'un appareil de cette nature ne laisse pas que de soulever quelques doutes, dont la pratique seule peut démontrer la valeur.

M. Ducomet, de Paris, exposait des manomètres à vapeur directe, qui ont pour organe principal une capsule de cuivre de forme spéciale, recouverte sur ses deux faces d'une feuille d'argent; les déformations de cette capsule sont amplifiées et traduites par une aiguille sur un cadran. On remarquait, dans la même exposition, des manomètres pour presse hydraulique, dans lesquels la pression à mesurer est transmise à un petit piston plongeur, muni d'une capsule en bronze d'aluminium formant garniture étanche; la poussée est contre-balancée par un ressort formé de lames plates d'acier, courbées en forme de cercle, et dont la flexion est proportionnelle à la pression sur la tête du plongeur. Cette pression est elle-même limitée par un artifice ingénieux : le cylindre dans lequel se meut le piston est percé, à une certaine hauteur, de petits trous par lesquels l'eau s'échappe dès que la capsule en bronze d'aluminium les dépasse; c'est une véritable soupape de sûreté en même temps qu'une balance de pression.

M. Desbordes, de Paris, construit des manomètres à diaphragmes en caoutchouc et d'autres avec tubes métalliques à section concavo-convexe.

M. Mathieu, de Paris, exposait des manomètres, fort bien exécutés, à boîtier élastique et déformable.

Dans les sections étrangères on remarquait les beaux manomètres à tubes métalliques de la maison Hopkinson et Cie (Angle-

Gr. VI. — Cl. 54.

terre) et les manomètres enregistreurs exposés par B. Edson, de New-York.

Quelques maisons présentaient des thermomanomètres plus ou moins ingénieux; dans les instruments de cette nature, la pression de la vapeur n'est donnée que d'une manière indirecte par sa température; c'est la raison qui les a fait généralement abandonner.

Citons, pour terminer, M. P. Bougarel, de Paris, qui le premier a remplacé, dans les essais de chaudières, la soupape de sûreté, si défectueuse comme précision, par le manomètre, et a su répandre et faire adopter ce mode de contrôler les essais. Le jury a tenu à reconnaître par une récompense élevée les services sérieux que M. Bougarel a rendus à l'industrie.

Avec le manomètre, l'indicateur du niveau de l'eau est l'accessoire le plus important pour la sécurité du fonctionnement des chaudières. Il en existe de plusieurs systèmes, reposant tous sur l'emploi d'un flotteur, d'un tube en verre en communication avec la chaudière, ou de robinets étagés dits *robinets de jauge*.

Le tube en verre, qui ne comporte aucune pièce mobile, donne des indications très sûres, s'il est en bon état. Il est imposé par les ordonnances de police, tant en France qu'à l'étranger. Placé sur la devanture de la chaudière, il est saisi à ses extrémités par deux garnitures en bronze, par lesquelles il communique, d'une part, avec le réservoir de vapeur, d'autre part avec le réservoir d'eau, de telle sorte que le niveau de l'eau soit toujours, dans le tube, à la même hauteur que dans la chaudière; des robinets permettent d'interrompre cette communication en cas de rupture du tube; un autre robinet s'ouvrant dans le bas sert à faire passer dans le tube un courant rapide de vapeur pour le nettoyer; enfin des bouchons à vis ont pour objet de faciliter le curage des divers conduits.

Le plus grand inconvénient que présente le tube de niveau d'eau, c'est d'être exposé à se briser. La rupture n'est pas d'ordinaire le résultat de la pression intérieure à laquelle le tube est soumis; elle provient le plus souvent d'un mauvais montage, d'une qualité défectueuse du verre et surtout des variations brusques de

température. Le remède le plus simple consiste à soigner le montage et la fabrication de ces tubes.

MM. Martin (A.), de Saint-Denis (Seine), et Moncrieff (John), de Perth (Écosse), ont présenté l'un et l'autre des tubes pour chaudières à vapeur, de fabrication spéciale, et qui semblent bien répondre aux conditions du problème.

Divers constructeurs ont cherché à atténuer les chances de rupture en éloignant le tube de la chaudière, de telle sorte qu'il reste toujours froid.

M. Damourette, de Paris, monte ses tubes latéralement à une *clarinette* ou réservoir intermédiaire, dans lequel l'eau est relativement calme, grâce à une cloison séparative; ce réservoir reçoit les robinets de jauge, et parfois aussi un flotteur agissant sur un sifflet d'alarme. D'autres constructeurs interposent entre la chaudière et le tube un serpentin dans lequel la vapeur se condense et qui reste rempli d'air.

Dans presque toutes les installations de chaudières, le tube de niveau est accompagné d'un flotteur qui transmet ses indications à une aiguille extérieure à la chaudière. Ce mode de transmission ne laisse pas que de présenter des difficultés; parfois on se contente d'un simple fil de cuivre, auquel le flotteur est suspendu et qui traverse un presse-étoupe; mais ce joint perd ou grippe, et le jeu de l'appareil est souvent paralysé.

MM. Lethuillier et Pinel, de Paris, ont eu, il y a déjà plusieurs années, l'idée de recourir pour cette transmission à l'attraction magnétique. L'*indicateur magnétique* qu'ils construisent se compose d'une lentille creuse, flottant sur l'eau de la chaudière, et à laquelle est scellée une tige verticale; cette tige s'élève dans une boîte cylindrique verticale, fixée au-dessus de la chaudière, et porte à sa partie supérieure un aimant en fer à cheval; cet aimant agit, à travers une plaque de métal, sur une aiguille ronde en acier, qui se maintient toujours à la hauteur des pôles, et suit par conséquent et traduit au dehors les mouvements du plan d'eau. Cet appareil, perfectionné dans ses détails, complété par des sifflets d'alarme, s'est beaucoup répandu et fait en général un fort bon service.

Gr. VI. — Cl. 54.

MM. Perrotte et Tatin, de Paris, se servent aussi de l'attraction magnétique, pour transmettre à l'extérieur les mouvements d'un flotteur; mais ces indications sont traduites par une aiguille aimantée tournant sur un cadran, et l'aimant en fer à cheval est fixé lui-même à l'extrémité d'un arbre horizontal, tournant autour de son axe d'un angle proportionné aux variations de hauteur du flotteur.

M. Eug. Perrotte a imaginé en outre un sifflet d'alarme fort ingénieux, fondé sur la dilatation du laiton par la chaleur : un tube de laiton horizontal est fixé à la chaudière; il est plein d'eau ou de vapeur, suivant la hauteur du plan d'eau; lorsqu'il est plein d'eau, il est simplement tiède; lorsque le plan d'eau s'abaisse, ce tube prend la température de la vapeur saturée; il s'allonge, sa dilatation est amplifiée par un système de leviers, et ouvre ainsi le passage à la vapeur allant au sifflet d'alarme.

Pour transmettre au dehors les mouvements du flotteur, M. Chaudré, de Paris, a recours à un tube flexible formant presse-étoupe (fig. 9). Le flotteur agit sur l'extrémité A de la tige AB; celle-ci est fixée dans le tube flexible CD, qui permet les oscillations, de sorte que la position du point B indique la hauteur du flotteur, et par suite celle du plan d'eau.

Fig. 9.
Indic. de niveau. Syst. Chaudré.

Les deux genres d'appareils que nous avons examinés jusqu'à présent, les manomètres et les indicateurs de niveau, ont pour objet de donner au dehors la mesure des deux circonstances les plus importantes du fonctionnement du générateur, à savoir la pression et le niveau de l'eau. Ces appareils sont d'ordinaire placés sous les yeux du chauffeur et servent à le guider dans son travail. On a cherché à leur demander des services d'une autre nature, et à leur faire contrôler automatiquement la marche de la chaudière.

Différentes méthodes sont proposées pour cet objet. S'il s'agit seulement de s'assurer qu'entre deux inspections le chauffeur n'a

pas calé ses soupapes ou laissé tomber son plan d'eau, un index mobile dans un sens, mais non en sens inverse, suffit pour fournir le contrôle voulu. Les manomètres à maxima construits d'après cette donnée sont assez répandus; l'index consiste en une aiguille entraînée par celle du manomètre, et qu'on ne peut ramener en arrière qu'en ouvrant une boîte fermée à clef. Quant au contrôle de l'abaissement du plan d'eau au-dessous du niveau réglementaire, le moyen le plus pratique, appliqué par toutes les compagnies de chemins de fer, consiste à disposer un bouchon de plomb au-dessus du foyer, dans une partie qui reçoit la radiation du combustible; ce bouchon fond dès qu'il cesse d'être immergé, et il laisse alors échapper la vapeur, qui éteint le feu.

Si le chef d'industrie désire des indications plus précises, s'il veut se rendre compte heure par heure, minute par minute, de la marche de ses appareils, il a recours aux enregistreurs, dont l'usage est devenu fréquent, et qui laissent une trace durable des phénomènes, après qu'ils ont été constatés.

Il existe aussi des appareils qui répètent à distance les indications fournies, absolument comme les horloges électriques répètent les mouvements d'une horloge centrale. Il y a quelque tendance, dans les industries, à concentrer ainsi, dans le bureau du directeur, les indications principales concernant les différents appareils de l'usine. Ce contrôle incessant, continu, ne peut qu'être favorable au bon fonctionnement des machines, en entretenant dans le personnel les habitudes d'exactitude et de discipline.

Au point de vue restreint de la sécurité des générateurs de vapeur, la soupape de sûreté, prescrite par tous les règlements de police, limite automatiquement la pression de la vapeur dans le cylindre. Les dangers résultant de la baisse du plan d'eau ne sont guère moindres que ceux que peut causer un excès de pression; cependant il n'est pas d'usage, et les ordonnances administratives ne prescrivent pas l'emploi d'appareils automatiques pour maintenir le niveau de l'eau.

Ce n'est pas qu'on n'ait imaginé aucun dispositif pour cet objet, bien au contraire. L'alimentation automatique des chaudières a

Cr. VI. — Cl. 54.

fait l'objet de fort nombreuses inventions. Un système qui a été essayé sous bien des formes, c'est la *bouteille alimentaire*, qui est fort connue et quelquefois employée : c'est une véritable écluse à vapeur qui sert à introduire l'eau dans la chaudière, en surmontant la pression au moyen d'un sassement. Elle se compose d'un récipient placé au-dessus de la chaudière à alimenter, et communiquant d'une part avec cette chaudière par un robinet, d'autre part avec la bâche à eau froide par un tuyau d'aspiration avec clapet de retenue. Quand on ouvre le robinet de communication avec la chaudière, l'équilibre de pression s'établit promptement, et l'eau contenue dans la bouteille s'écoule dans la chaudière. Si l'on ferme le robinet, la vapeur que renferme la bouteille se condense rapidement, et l'eau froide de la bâche est aspirée et vient remplir le récipient.

Cet appareil est d'une extrême simplicité; on le construit sous toutes les formes et de toutes les dimensions. Une des applications intéressantes est le *pulsomètre de Hall*, sur lequel nous aurons à revenir. Pour cet emploi spécial, le pulsomètre doit être établi en contre-haut du générateur à alimenter; il joue alors le rôle d'une véritable bouteille alimentaire double, à mouvement automatique du distributeur. Comme la bouteille alimentaire, il a l'avantage de restituer à la chaudière toute la chaleur (sauf les pertes accessoires) qu'il lui a empruntée pour son fonctionnement.

La manœuvre de la bouteille alimentaire n'exige que la fermeture ou l'ouverture d'un robinet. Aussi l'idée de rendre cette manœuvre automatique est venue à plus d'un inventeur : il suffit, pour obtenir le résultat voulu, de relier, par un moyen quelconque, le robinet à un flotteur posé sur l'eau de la chaudière. Si la chose semble fort simple en principe, la réalisation complète et pratique de cette idée présente des difficultés qui ont amené de nombreux échecs; les forces dont on dispose, et qui ne sont autres que les variations de la poussée exercée par l'eau sur le flotteur quand le plan d'eau s'élève ou s'abaisse, ces forces sont très petites; le moindre frottement suffit à paralyser le jeu de l'appareil. Or, l'alimentation est une fonction trop importante pour qu'on puisse la subordonner à de pareilles chances. Aussi la plupart des bouteilles alimentaires

automatiques, fondées sur les principes que nous venons de rappeler, après avoir obtenu des succès plus ou moins durables, ont-elles fini par disparaître d'une manière plus ou moins complète.

Les alimentateurs automatiques qui figuraient à l'Exposition se rapportaient en général à des systèmes dans lesquels la manœuvre des organes mécaniques était confiée à des moteurs doués de plus de puissance qu'un simple flotteur.

Disons cependant que, dans les chaudières Belleville, pour lesquelles, comme nous l'avons vu, l'alimentation automatique est presque une nécessité, la marche plus ou moins rapide de la pompe alimentaire est commandée par le déplacement d'un flotteur agissant sur un obturateur.

MM. Mariolle frères exposaient un appareil ingénieux, qui était appliqué à l'alimentation du groupe de chaudières en feu de MM. Chevallier et Grenier. Ce n'est plus un appareil à sassement, mais simplement un régulateur de l'alimentation, celle-ci étant obtenue au moyen d'une pompe à vapeur; cette pompe refoule l'eau sous pression dans un réservoir placé au-dessus de la chaudière; cette eau s'écoule de là dans le générateur, mais seulement lorsque le plan d'eau est assez bas pour découvrir l'orifice inférieur d'un tube communiquant avec le réservoir, et pour permettre en conséquence à la vapeur d'exercer sa pression sur la surface de l'eau du récipient. Cet appareil est ingénieux et semble devoir fonctionner régulièrement.

M. V. Cleuet, de Paris, a recours, pour la manœuvre des appareils régulateurs du débit d'alimentation, à la force considérable résultant de la dilatation des métaux. Un long tube en laiton presque horizontal est installé à côté de la chaudière, à la hauteur moyenne du plan d'eau, et communique haut et bas avec l'eau et la vapeur comme un tube de niveau; quand le plan d'eau est bas dans la chaudière, ce tube est plein de vapeur et par conséquent chauffé à la température intérieure de la chaudière; au fur et à mesure que l'eau s'élève, ce tube se remplit d'eau, dont la chaleur se disperse rapidement; par conséquent il se refroidit et se contracte; ces mouvements, amplifiés par un système de leviers, agissent sur une soupape disposée sur la conduite de refoulement

Gr. VI. — Cl. 54.

de la pompe alimentaire, de manière à l'ouvrir et à créer une fuite plus ou moins considérable, dont des vis de réglage permettent de modifier le débit. L'eau refoulée par la pompe se divise ainsi en deux parties : une portion passe par la soupape et retourne à la bâche alimentaire, et cette portion est d'autant plus importante que le niveau est plus élevé dans la chaudière; le surplus est envoyé au générateur.

L'alimentateur imaginé par M. Dervaux, et construit par la maison Cail, Halot et Cie, de Bruxelles, est bien un appareil à sassement; mais les éclusées sont de très faible volume. Imaginons un robinet à deux eaux, dont la clef n'est pas entièrement percée, mais simplement munie d'une cavité; ce robinet est placé au-dessus de la chaudière; l'une des ouvertures du boisseau communique avec l'eau froide en charge, l'autre avec la vapeur de la chaudière. Si l'on imprime à la clef un mouvement de rotation continue, la cavité va passer successivement devant les deux ouvertures du boisseau, c'est-à-dire se remplir d'eau prise à la conduite, et verser cette eau dans la chaudière. Jusque-là, rien que de très simple et de bien connu.

Pour rendre l'alimentation automatique, M. Dervaux se contente de faire plonger le tuyau de décharge dans la chaudière, jusqu'à la hauteur du niveau moyen de l'eau; il est clair que si l'eau est trop haute dans la chaudière, le bout de ce tuyau sera immergé; ce tuyau sera donc rempli d'eau, la cavité de l'alimentateur cessera de s'y déverser, et l'alimentation sera suspendue, jusqu'à ce que le niveau s'abaisse assez pour découvrir l'orifice du tuyau de décharge. Le principe est ingénieux et fort simple; il semble que le fonctionnement de l'appareil doive être régulier.

L'auteur a jugé à propos d'y ajouter des dispositions ayant pour but de séparer les sels en dissolution, dispositions dont l'efficacité semble douteuse, et qui enlèvent à l'appareil le caractère de simplicité qui en fait le principal mérite.

Nous arrivons actuellement aux injecteurs alimentaires.

L'idée de se servir de l'entraînement produit par un jet d'une grande rapidité pour déterminer le mouvement d'un fluide est loin

d'être nouvelle. Sans remonter aux trompes des forges catalanes, qui utilisent ainsi, pour la soufflerie des foyers, les chutes d'eau si abondantes dans les montagnes, il ne sera pas hors de propos de rappeler les expériences de Manoury d'Ectot, qui, il y a plus de soixante ans, employait la puissance vive d'un jet de vapeur à haute pression pour élever l'eau à une grande hauteur dans une conduite ascensionnelle.

Ces tentatives et d'autres moins connues restèrent sans résultats pratiques, jusqu'au jour où, par une étude attentive des applications possibles, ainsi que des dispositions et proportions à donner aux différentes parties d'un appareil à jet en vue d'obtenir un résultat déterminé, M. Henry Giffard eut donné à l'industrie l'*injecteur alimentateur* qui porte son nom, appareil complet dans toutes ses parties, pourvu de tous ses moyens de réglage, s'adaptant, sous une forme unique, aux circonstances les plus variées de pression et de température, et qui aujourd'hui encore, après vingt années, se construit à peu près tel qu'il a été dessiné par son auteur.

Les modifications qui ont été apportées depuis lors à l'injecteur Giffard ont eu surtout pour objet d'en simplifier le jeu ou la construction; souvent cette simplification a été obtenue en supprimant l'une des fonctions de l'appareil primitif, par exemple la propriété qu'il possède d'aspirer l'eau alimentaire à une certaine hauteur au-dessus de la bâche alimentaire. Les différents injecteurs qui figuraient à l'Exposition n'étaient en réalité que des variétés de l'appareil original, variétés qu'il ne sera pas inutile cependant de passer rapidement en revue.

M. Turck, de Paris, est un des ingénieurs qui se sont occupés avec le plus de persévérance et de succès de la théorie pratique des appareils à jet et de leurs applications; nous le retrouverons à propos des foyers, dont il est parvenu à brûler la fumée par des moyens aussi simples qu'ingénieux. L'injecteur de M. Turck (fig. 10) est appliqué sur un grand nombre de locomotives. Il est aspirant, et différent du type primitif de Giffard par les détails suivants. La tuyère du jet de vapeur est entourée d'une enveloppe, qui peut se déplacer et étrangler ainsi plus ou moins l'arrivée de l'eau; ce

Gr. VI. — Cl. 54.

mouvement est obtenu, d'une manière simple, par un pignon et est contrôlé du dehors par le déplacement d'un arc denté. L'enveloppe dont nous venons de parler laisse autour de la tuyère un vide an-

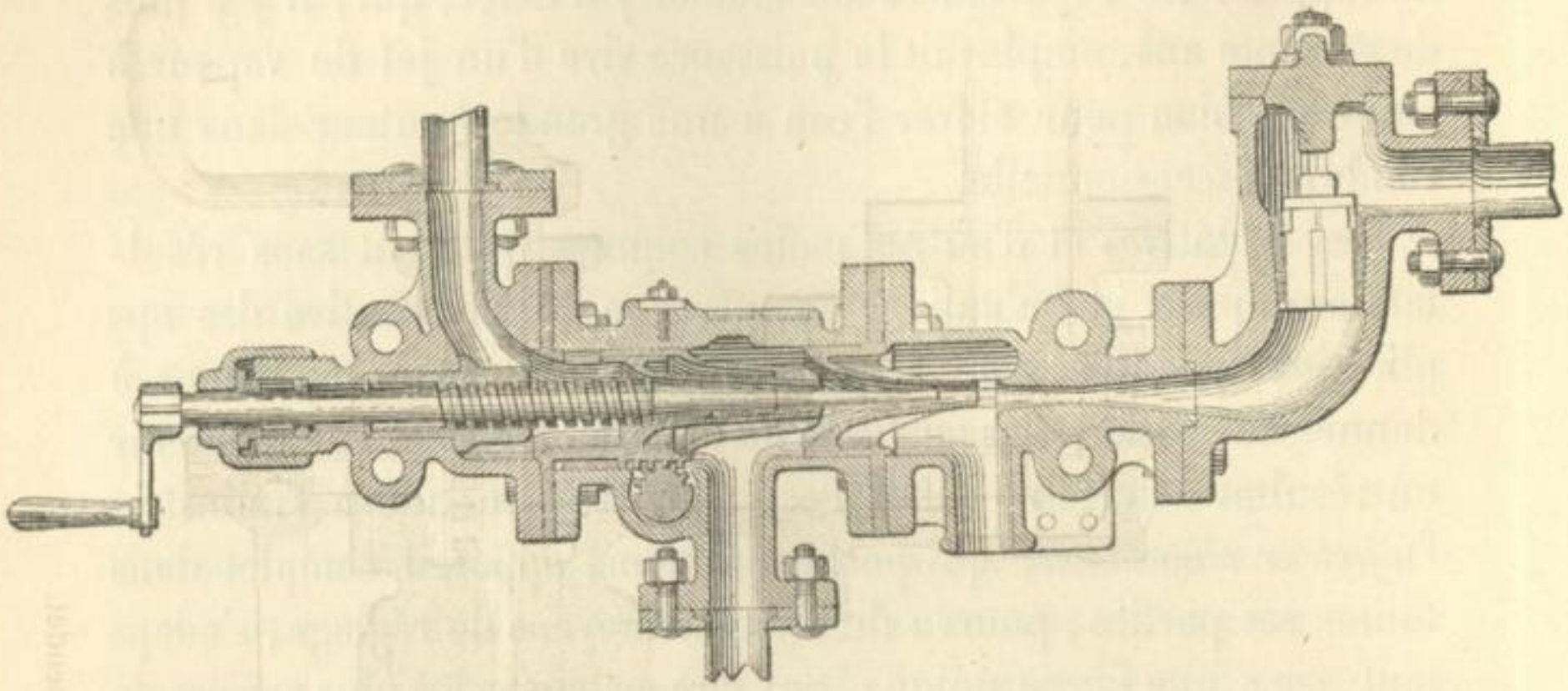


Fig. 10. — Injecteur Turck.

nulaire, qui a pour effet d'isoler cette tuyère du contact de l'eau froide ambiante, et par suite de diminuer la perte de force élastique du jet de vapeur.

MM. Flaud et Cohendet, de Paris, outre des injecteurs Giffard du type primitif, qu'ils fabriquent sur une grande échelle, ont exposé un injecteur dont on voit le croquis ci-dessous (fig. 11); l'espace entre le tube convergent et le tube divergent, qui d'ordinaire est en libre communication avec l'atmosphère, est ici renfermé dans une capacité en relation avec l'eau aspirée; on évite ainsi les appels d'air, qui parfois troublent le jeu des injecteurs, et le réglage du débit d'eau devient beaucoup moins délicat. La mise en marche se fait en ouvrant le robinet de décharge K; quand ce robinet laisse échapper l'eau à gueule bée, on le ferme, et l'eau est refoulée dans la chaudière. Le réglage de la distance de la tuyère à vapeur au tube convergent se fait par la vis A et la poignée L; il est fort simple.

La même maison construit des appareils à jet de vapeur applicables à l'élévation des liquides, à l'entraînement des gaz, à la production du vide et au fonctionnement des freins automoteurs du sys-

tème Smith. Dans ces appareils il n'y a aucune pièce mobile. Ce sont de simples ajutages coniques, semblables, quant à la forme et

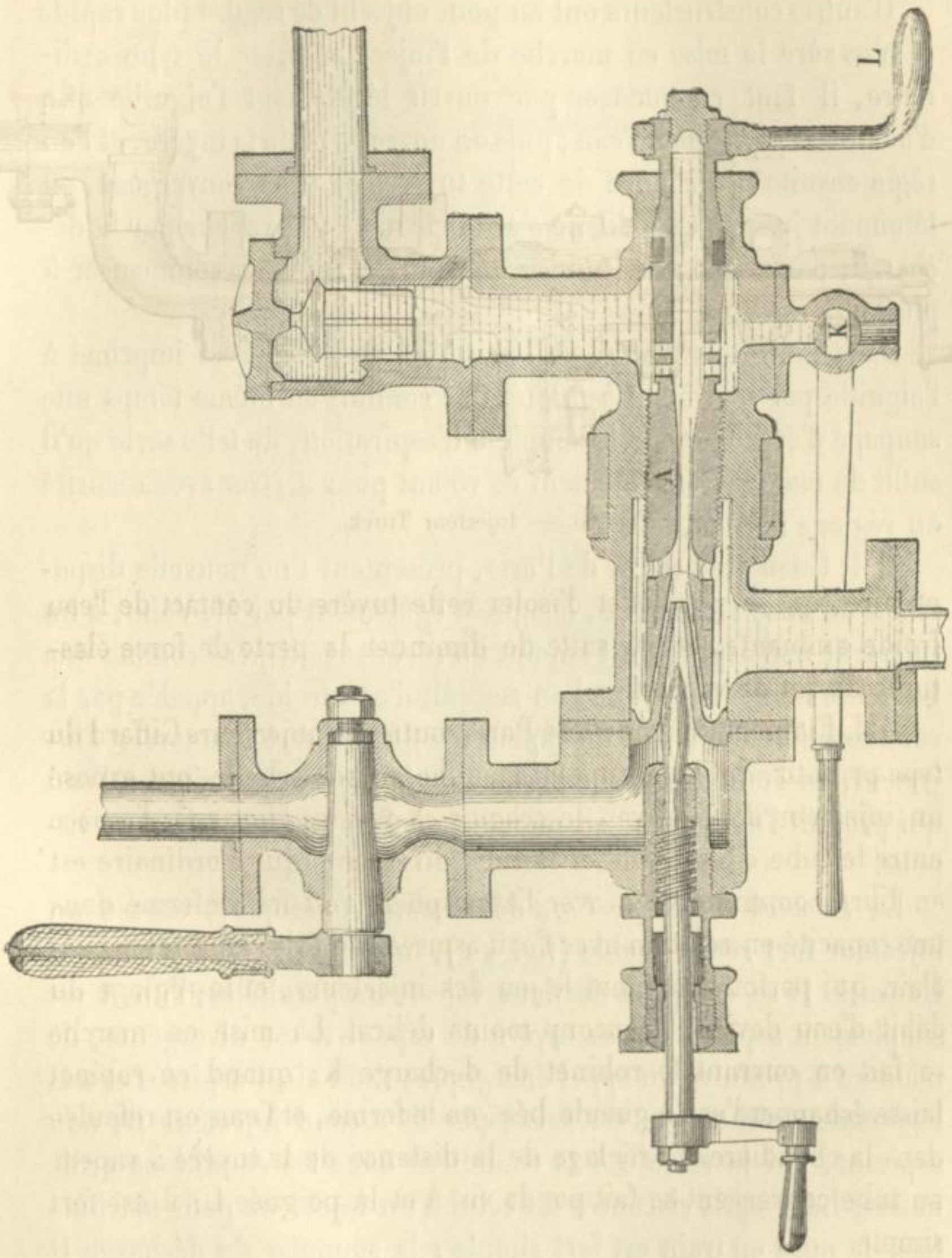


Fig. 11. — Injecteur Flaud et Cohendet.

à l'agencement, à ceux employés dans les injecteurs alimentaires; mais ces organes sont fixes, réglés une fois pour toutes lors de la

Gr. VI. — Cl. 54.

construction, et ils sont établis sur de plus grandes dimensions, en raison des volumes considérables d'eau et de gaz qu'ils ont à débiter.

D'autres constructeurs ont eu pour objectif de rendre plus rapide et plus sûre la mise en marche de l'injecteur. Avec le type ordinaire, il faut commencer par ouvrir légèrement l'aiguille afin d'amorcer l'aspiration d'eau; puis on ouvre en plein la tuyère, et l'on règle ensuite la distance de cette tuyère au tube convergent, en tâtonnant jusqu'à ce qu'il ne s'échappe ni eau ni vapeur par la décharge; parfois on rate la mise en train, et il faut recommencer à plusieurs reprises.

Dans l'injecteur Vabe, de Paris, le mouvement est imprimé à l'aiguille par un volant à main, qui conduit en même temps une soupape d'évacuation et la soupape d'aspiration, de telle sorte qu'il suffit de manœuvrer lentement ce volant pour arriver avec sécurité au réglage normal.

MM. Cuau aîné et Cie, de Paris, présentent une nouvelle disposition de mise en marche, imaginée également par M. Vabe; à un injecteur non aspirant est adjoint un récipient, disposé comme une bouteille alimentaire, que l'on remplit d'eau froide, appelée par la condensation d'un peu de vapeur; cette eau sert à amorcer l'injecteur, en établissant, sur l'orifice de la tuyère, une charge d'eau qui produit l'amorçage, au moment où l'on ouvre l'arrivée de vapeur.

La *Hancock inspirator Co.*, de Boston (Amérique), expose un injecteur fort remarquable (fig. 12), imaginé par M. J. Théobald Hancock. Il se compose de deux injecteurs parallèles; l'un A est simplement aspirant, et sa tuyère de vapeur E est divergente, de manière à produire un appel énergique; l'eau ainsi aspirée, et très légèrement réchauffée, est saisie par le second injecteur B, non aspirant, qui la refoule à la chaudière dans les conditions ordinaires. Le croquis ci-contre est celui d'un injecteur pour machine fixe; la mise en train est fort simple : la soupape de décharge D étant ouverte, on ouvre l'arrivée de vapeur; l'aspiration se produit immédiatement, et l'eau aspirée s'écoule par la décharge; en ouvrant alors la soupape B, on produit le refoulement; lorsque le

jet est bien établi, on ferme la décharge D, et l'eau refoulée entre dans la chaudière.

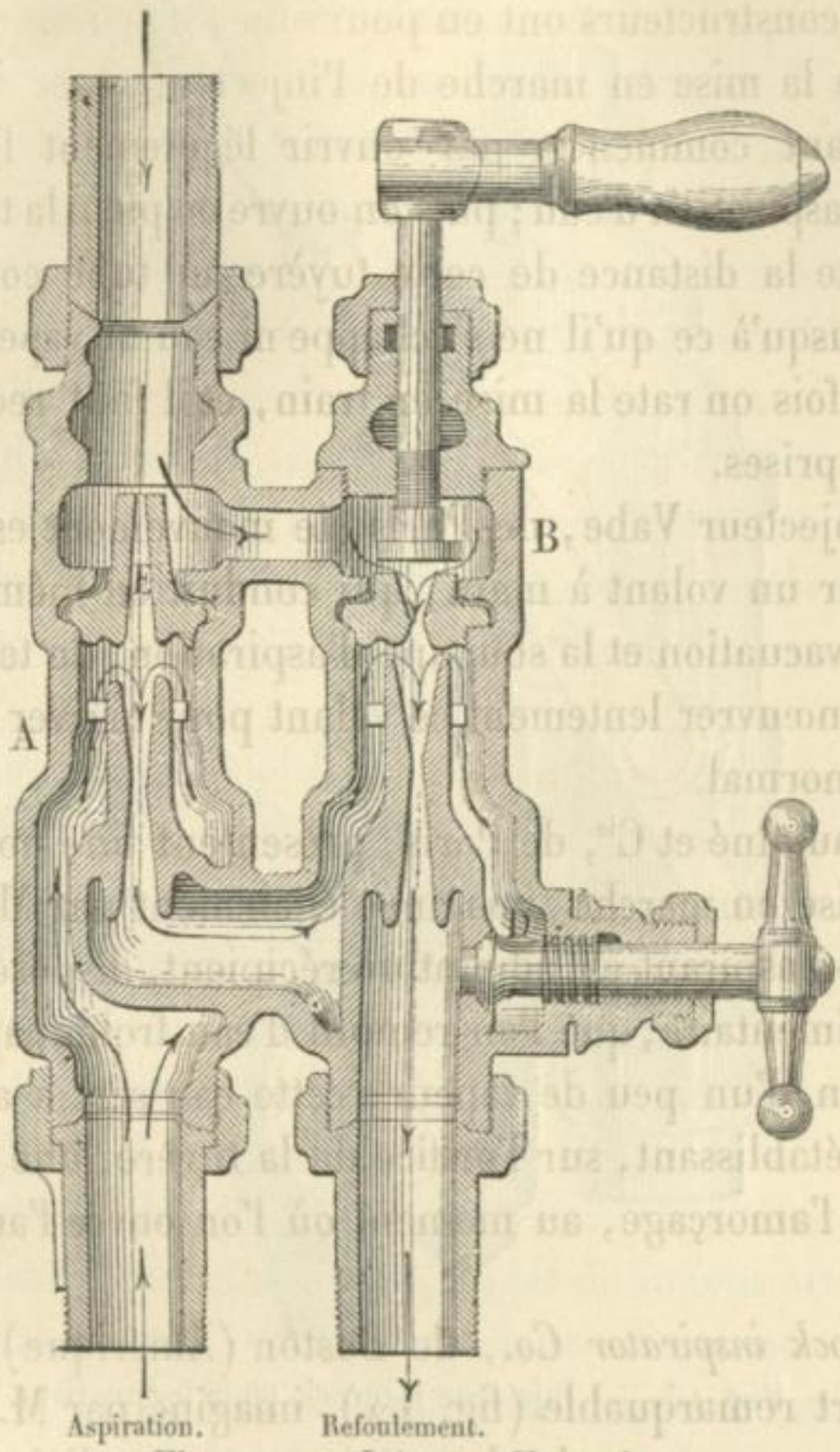


Fig. 12. — Injecteur Hancock.

Dans le modèle pour locomotives, représenté ci-contre (fig. 13), un seul mouvement de levier suffit pour faire manœuvrer à la fois les divers obturateurs et mettre en marche l'appareil.

En répartissant les fonctions d'aspiration et de refoulement entre des organes différents, on a pu donner à chacun de ces organes les proportions qui conviennent le mieux au service qu'ils ont à faire. Cette spécialisation bien entendue constitue un véritable et important progrès. En fait, l'injecteur Hancock aspire l'eau à des

Gr. VI. — Cl. 54.

hauteurs de 4 et 5 mètres, ce qu'aucun injecteur connu ne pouvait faire; la mise en train est sûre et se fait sans hésitation.

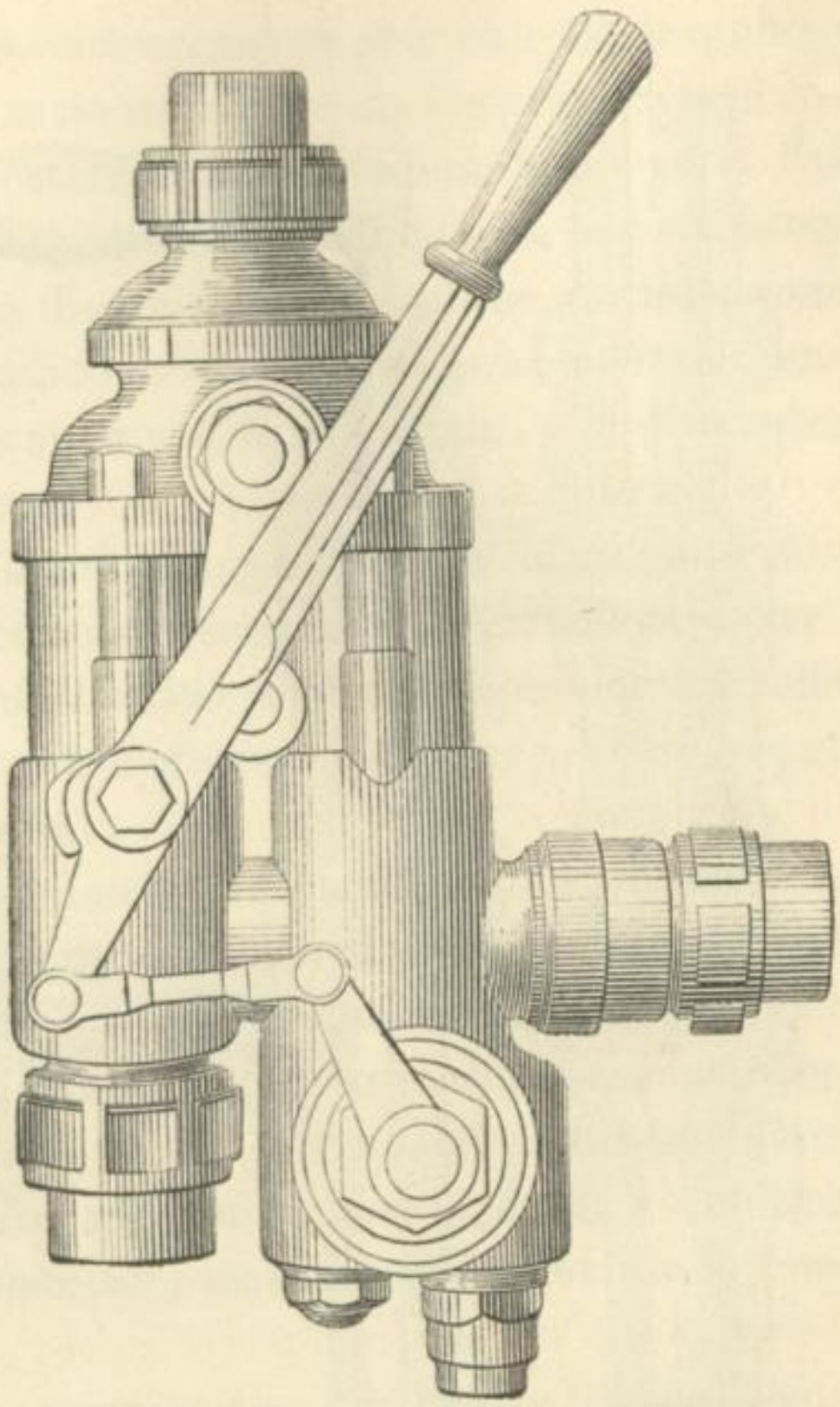


Fig. 13. — Injecteur Hancock pour locomotives.

Nous terminons cette revue des appareils d'alimentation par la description d'un appareil ingénieux imaginé par M. Chiazzari de Torres, de Turin, et exposé par la maison Cail et Cie. M. Chiazzari s'est proposé d'utiliser une partie de la vapeur d'échappement des locomotives pour réchauffer l'eau d'alimentation. En principe, l'appareil se compose de deux pompes; l'une aspire l'eau du tender et la refoule, sous forme de pluie, dans un récipient mis en communication avec les lumières d'échappement des cylindres; cette eau condense la vapeur et s'échauffe; elle est reprise par la seconde

pompe, qui la refoule dans la chaudière. Comme construction, les deux pompes n'en forment qu'une et sont réunies dans un seul cylindre, sous forme de plongeur mixte, l'aspiration se faisant par la face pleine du piston, et le refoulement par l'espace annulaire compris entre le corps du plongeur et le cylindre. L'appareil tel qu'il est construit comporte des détails fort habilement entendus. D'après les renseignements communiqués au jury, il fournit de l'eau d'alimentation chauffée jusqu'à 80 degrés, ce qui correspond évidemment à une économie fort notable de combustible. Il paraît que, sur les chemins de fer italiens, il donne toute sa satisfaction. Remarquons d'ailleurs qu'avec les grandes grilles et la combustion modérée, qui sont de règle aujourd'hui sur la plupart des réseaux, le tirage est encore suffisant, même quand une partie de la vapeur d'échappement est employée à réchauffer l'eau alimentaire.

Depuis quelques années, divers inventeurs ont essayé de remplacer, dans les machines à condensation, la pompe à air par des appareils agissant en vertu du phénomène de l'entraînement latéral des fluides. Ces *éjecteurs* sont des appareils en relation plutôt avec la machine qu'avec la chaudière; néanmoins leur fonctionnement se rapproche tellement de celui des injecteurs alimentaires, dont ils sont dérivés, qu'il convient de ne pas les en séparer.

Le plus ancien des injecteurs pour condensation paraît être celui de Morton. Dans cet appareil, un jet de vapeur pris à la chaudière détermine, comme dans l'injecteur alimentaire, un appel d'eau froide et la formation d'une veine liquide animée d'une grande vitesse; cette veine pénètre dans un récipient, qui reçoit la décharge des cylindres de la machine motrice; par son contact, elle condense la vapeur d'échappement; malgré le vide relatif existant dans la capacité où se produit la condensation, le jet poursuit sa route, en vertu de la vitesse qu'il possède, et sort par un ajutage divergent, en refoulant la pression atmosphérique. Le système est complété par divers accessoires, notamment un régulateur d'écoulement, ayant pour objet d'augmenter ou de diminuer le débit de vapeur qui donne l'impulsion au jet liquide, suivant la valeur du vide obtenu.

Gr. VI. — Cl. 54.

Dans certains cas, lorsque la pression à fin de course dans le cylindre est encore assez élevée et que les divers ajutages d'écoulement des fluides ont été convenablement réglés, l'élasticité de la vapeur qui s'échappe des cylindres est suffisante, à elle seule, pour entretenir l'écoulement, et l'appareil n'a pas besoin d'emprunter de la vapeur à la chaudière. Si l'éjecteur fonctionnait toujours dans ces conditions, il aurait sur la pompe à air ordinaire une supériorité considérable, non seulement comme simplicité de mécanisme, mais aussi comme économie de puissance; un pareil système utiliserait, pour produire le vide, du travail complètement perdu avec les condenseurs habituels, à savoir : la force vive contenue, tant dans l'eau arrivant avec vitesse au condenseur, sous l'action de la pression atmosphérique, que dans la vapeur qui se précipite hors des cylindres au moment de l'échappement.

Malheureusement il n'en est presque jamais ainsi; on ne marche d'ordinaire qu'en maintenant l'injection de vapeur à haute pression, et la dépense qui en résulte compense et au delà les avantages accessoires; au point de vue dynamique, la force vive empruntée à la pression de la chaudière est fort mal employée, et de plus la condensation se fait par de l'eau déjà échauffée, par conséquent dans des conditions défavorables. Que si l'on tient à supprimer cette injection, il faut maintenir dans le cylindre une pression élevée au moment de l'échappement, c'est-à-dire perdre une partie notable des avantages des longues détentes et de la condensation. Malgré ces inconvénients, dont l'expérience a démontré la réalité, le condenseur éjecteur est tellement simple et peu encombrant, comparé au condenseur ordinaire, qu'il semble appelé dans bien des cas à rendre des services sérieux. S'il s'agit par exemple d'augmenter, sans grandes dépenses, la puissance d'une machine à vapeur sans condensation, un condenseur éjecteur pourra fort bien remplir le but; le vide incomplet ainsi obtenu suffira pour accroître notablement le travail, sans augmenter et même en réduisant la dépense de vapeur. Du reste, le dernier mot n'est pas dit sur ce sujet; la dynamique des fluides a déjà causé plus d'une surprise, à ne compter que l'invention des injecteurs alimentaires; elle nous en ménage peut-être beaucoup d'autres.

Si l'on dispose d'eau en charge pour la condensation, il n'est plus nécessaire de recourir à un jet de vapeur pour communiquer au fluide la puissance vive qu'il dépense à surmonter la pression atmosphérique. Le condenseur éjecteur devient alors très simple, son fonctionnement est plus sûr et son usage peut être fort avantageux. On peut même se demander s'il n'y aurait pas bien souvent lieu de remplacer le condenseur ordinaire avec sa pompe à air, d'un si grand volume et si lourde à manœuvrer, par un simple éjecteur, auquel la pompe élévatoire fournirait l'eau en charge, moyennant une augmentation de quelques mètres de la hauteur d'élévation. Outre la simplification très notable du mécanisme, la théorie semble indiquer qu'il y aurait là une économie sérieuse de puissance. Mais c'est à la pratique à vérifier l'exactitude de ces aperçus.

Cette question est fort intéressante; on s'étonne de voir combien peu elle a été approfondie jusqu'ici.

A l'Exposition on voyait quelques appareils présentés par MM. Nathan et Dreyfus, de New-York, des études intéressantes de M. Brossard, de Lyon, puis quelques dessins de M. Legat, de Paris, sans aucune indication des résultats obtenus.

Il faut espérer que l'attention des ingénieurs se portera dans cette direction.

Nous passons à un sujet fort important: les conduites de vapeur. Les règles qui se rapportent à la construction, à la pose et à l'entretien de ces conduites sont aujourd'hui fort connues; les défauts des conduites se décèlent presque toujours d'eux-mêmes par des fuites, par des fissures ou par des pertes de charge notables; la pratique de ces organes a donc pu promptement s'établir. On voyait, à l'Exposition, de nombreuses conduites de vapeur de divers systèmes, généralement bien établies, et qui, pour la plupart, ont fonctionné pour envoyer la vapeur aux machines motrices, et donné des résultats satisfaisants. Mais en ce genre il y avait fort peu de nouveauté. La bonté d'une conduite de vapeur dépend, en grande partie, de la qualité des tuyaux dont elle est composée; et la fabrication de ces tuyaux se rapporte plutôt à la

Gr. VI. — Cl. 54.

métallurgie qu'à la mécanique proprement dite. Ce n'est donc, pour ainsi dire, que par exception que le jury de la classe 54 a eu à s'occuper de la tuyauterie pour vapeur.

Les conduites de vapeur se font, pour les grands diamètres, en fonte, en tôle rivée ou en cuivre soudé; pour les diamètres petits et moyens, on emploie le bronze, le cuivre étiré et le fer étiré ou soudé. L'usage du fer étiré pour conduites, assez exceptionnel en France, est au contraire extrêmement fréquent aux États-Unis; dans les machines américaines, le cuivre pour tuyauterie ne joue qu'un rôle assez restreint. Les Anglais aussi emploient couramment les tuyaux de fer.

La maison Russell John et Cie, de Walsall (Staffordshire, Angleterre), exposait une fort belle collection de tuyaux pour vapeur, en fer et en bronze, d'une exécution supérieure. On a remarqué également les admirables tuyaux en fer soudés et rivés exposés par MM. Brand et Lhuillier, de Brünn (Autriche); M. Haller, constructeur à Thaon (Vosges), présentait des tuyaux rivés mécaniquement et d'une fort bonne exécution.

Les échantillons que nous venons de citer ne peuvent donner qu'une idée bien insuffisante des progrès importants accomplis depuis quelques années dans la fabrication des tuyaux. L'Exposition présentait de magnifiques spécimens de tuyaux étirés ou soudés en cuivre et en fer, fabriqués sur des longueurs et des diamètres qui eussent été naguère inabordables. Ces produits, d'une perfection remarquable, caractérisent une industrie très avancée et puissamment outillée. Mais, par les motifs rappelés plus haut, ils n'ont pu être classés dans la mécanique générale, et nous devons nous borner ici à cette courte mention. Nous n'insisterons pas davantage sur les procédés mis en œuvre pour raccorder les tuyaux, nous réservant de revenir ultérieurement sur ce sujet. Examinons seulement quelques appareils accessoires des conduites de vapeur.

La maison Geneste, Herscher et Cie, de Paris, qui a fait sa spécialité du chauffage et de la ventilation des grands établissements, a eu fréquemment à établir de très longues conduites de vapeur,

et a porté ses études sur les procédés les plus propres à en assurer le fonctionnement. Gr. VI. — Cl. 54.

Il est résulté de ces recherches un certain nombre de dispositions, en général simples, mais ingénieuses et bien entendues. Dans l'exposition fort importante de cette maison, on remarquait, entre autres choses intéressantes, des joints de vapeur à dilatation libre, d'une bonne construction, dans lesquels la réunion des deux tronçons consécutifs de conduite est faite par une membrane plissée.

Les longues conduites de vapeur sont exposées à se remplir d'eau par le fait des condensations qui se produisent sur leur parcours; il est indispensable que cette eau soit évacuée en temps utile; à cet effet, on établit le profil longitudinal suivant une série de pentes et de contre-pentes, et à chaque point bas on installe un purgeur, ou petit réservoir, dans lequel vient se rendre l'eau condensée; un robinet permet de vider de temps à autre l'eau ainsi rassemblée. Mais cette manœuvre à la main devient impraticable pour peu que les purgeurs soient multipliés, et il est alors indispensable que la purge se fasse automatiquement, dès que l'eau qui s'est réunie dans le réservoir est en quantité suffisante. MM. Geneste et Herscher ont exposé divers purgeurs automatiques. Dans quelques modèles, la soupape de purge est manœuvrée par un flotteur, qui l'ouvre dès que l'eau arrive à un certain niveau; c'est un système simple et d'un fonctionnement régulier.

Voici un autre purgeur automatique, exposé par les mêmes constructeurs et fondé sur un principe fort ingénieux. L'organe essentiel de ce purgeur est une boîte ronde en métal mince, plissée circulairement, afin d'augmenter la flexibilité de ses parois. Avant d'en opérer la fermeture hermétique, on y introduit une petite quantité d'alcool ou autre liquide entrant en ébullition à une température inférieure à 100 degrés. Cette boîte est renfermée dans une enveloppe qui sert de réservoir pour l'eau provenant de la conduite à purger. La boîte flexible est fixée à cette enveloppe par le milieu de son couvercle, tandis que la partie centrale du fond est liée à une soupape, servant à ouvrir ou à fermer en

Gr. VI. — Cl. 54.

temps opportun l'orifice d'écoulement de l'eau condensée. Lorsque le réservoir est rempli d'eau condensée et tiède, la boîte, étant soumise sur ses parois extérieures à la pression qui règne dans la chaudière, se contracte et ouvre la soupape de purge; l'eau s'écoule et est peu à peu remplacée par de la vapeur chaude; mais alors l'alcool se met à bouillir, et, la tension de sa vapeur, à température égale, étant supérieure à celle de la vapeur d'eau, la boîte se gonfle et ferme la soupape.

Cet appareil remplit une autre fonction fort utile au moment de la mise en pression : il sert à évacuer l'air qui remplit la conduite. Celle-ci étant pleine d'air froid, la boîte élastique du purgeur est contractée, et par conséquent la soupape de purge est ouverte et laisse passer l'air chassé par la vapeur, et elle reste dans cet état jusqu'à ce que la conduite soit chaude, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'air ait été expulsé. Les purgeurs à flotteur ne possèdent pas cette intéressante propriété.

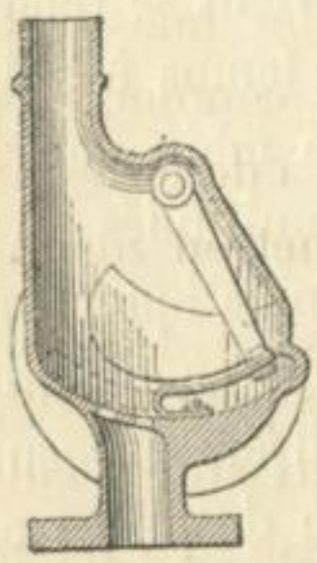


Fig. 14. Purgeur automatique de Corpet et Bourdon.

Le purgeur automatique exposé par MM. Corpet et Bourdon, de Paris (fig. 14), se distingue par un détail ingénieux; le flotteur transmet son mouvement à une membrane qui, en s'enroulant ou se déroulant, sert d'obturateur mobile, sans résistance sensible. Cette membrane est en caoutchouc, ou bien en un tissu métallique fortement laminé, rendu ainsi étanche, sans que cette opération lui ait enlevé sa souplesse.

M. Legat, de Paris, avait une exposition fort riche en dispositifs ingénieux.

Nous y trouvons d'abord des purgeurs automatiques d'eau de condensation, se rapprochant beaucoup des systèmes connus. Un autre purgeur est fondé sur la dilatation des métaux par les variations de température : c'est un tube vertical en bronze, vissé au point bas d'une conduite; ce tube est tiède ou chaud, suivant qu'il est plein d'eau ou de vapeur; les variations de longueur qui en résultent, amplifiées par des leviers, servent à manœuvrer un robinet ou une soupape de purge.

D'autres exposants présentaient des purgeurs de conduite plus ou moins bien conçus ou exécutés.

On voyait également figurer à l'Exposition des joints dilatables en assez grand nombre; c'étaient, ou des presse-étoupe, ou des tuyaux courbés en col de cygne, ou des soufflets composés de membranes élastiques; en somme, peu de dispositions nouvelles ou particulièrement remarquables.

Parmi les organes qui se retrouvent le plus fréquemment dans les appareils à vapeur, sous les dimensions les plus variées et appliqués aux usages les plus divers, il faut compter les robinets; la plus modeste machine en comporte un grand nombre. Il y a donc un intérêt pratique, sérieux, à rechercher les améliorations introduites dans leur fabrication.

Sous le nom général de *robinets*, on comprend un grand nombre d'appareils différents, non seulement par leur forme, mais surtout par le service qu'ils ont à faire. On ne saurait confondre, par exemple, les robinets pour vapeur, devant résister à de fortes pressions et à des températures élevées, avec le robinet en zinc pour fontaine, ou le robinet en bois pour tonneau.

Nous n'avons à nous occuper ici que des robinets pour vapeur, et nous laisserons de côté tout ce qui se rapporte aux autres industries. Disons toutefois que la limite est assez indécise : tel robinet, désigné comme robinet mécanique, n'est parfois guère supérieur aux produits vendus sans prétention par de bonnes maisons de quincaillerie; la qualité d'un robinet est, avant tout, une question de choix des matières et de soins apportés dans la fabrication.

Une machine à vapeur ne peut bien fonctionner que si les nombreux robinets dont elle est pourvue sont tous en bon état. Malheureusement ce cas est loin d'être général; il arrive souvent que les robinets fuient, grippent, se coincent, s'usent rapidement, et qu'ils mettent à de cruelles épreuves la patience du mécanicien. Un bon robinet pour vapeur est chose assez rare. A ce point de vue, on a pu constater à l'Exposition des améliorations réelles.

Le robinet ordinaire à clef conique, rodée dans le boisseau, est le plus en usage en France, pour les petits et moyens tuyaux.

Gr. VI. — Cl. 54.

On n'emploie le robinet à vis que sur des conduites d'assez fort diamètre. Il n'en est pas de même à l'étranger; aux États-Unis, notamment, le robinet à vis est usité, même pour les plus petits tuyaux, tels que ceux qui desservent les manomètres ou les tubes de niveau. Quelques compagnies françaises de chemins de fer sont du reste entrées dans la même voie. Il est certain que le robinet à clef conique doit être établi avec une précision parfaite, pour être étanche et ne pas se coincer, et qu'il suffit d'un rodage mal fait pour le mettre hors de service. Mais, d'autre part, il est fort simple de construction, puisqu'il ne comprend qu'une pièce mobile, la clef.

Parmi les perfectionnements intéressants du robinet à clef conique, il faut citer le robinet à garniture d'amiante imaginé par M. Mallinson (fig. 15) et exposé par la maison Dewrance John et Cie, de Londres. Ce robinet n'est pas rodé; l'amiante, d'une

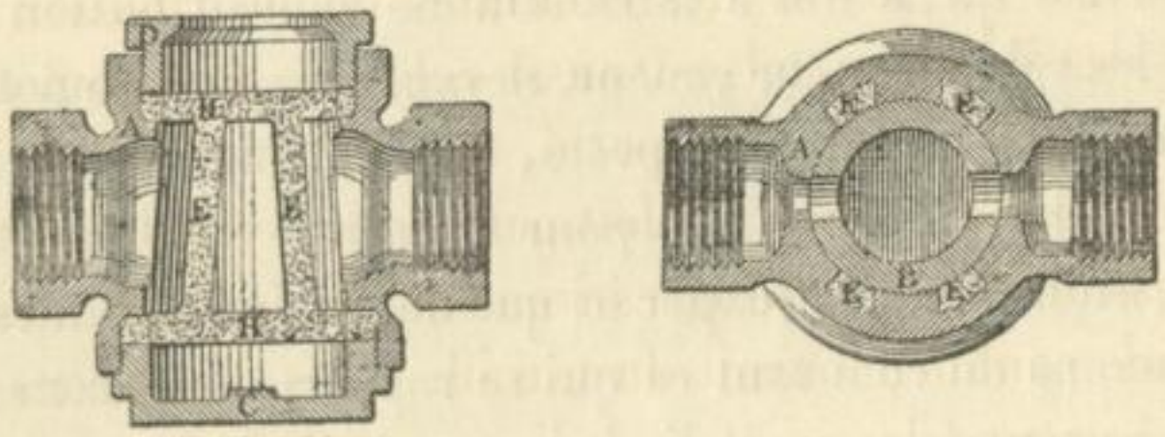


Fig. 15. — Robinet Mallinson.

qualité spéciale, est placée dans les rainures EE, pratiquées dans le boisseau A, et qui vont rejoindre deux contre-rainures HH, faisant le tour du boisseau dans le haut et dans le bas. Après avoir été bien tassée dans ces rainures, cette garniture est comprimée au moyen des presse-étoupe C et D et devient ainsi la surface de frottement du boisseau, sans qu'il y ait contact entre les surfaces métalliques. Des renseignements fournis au jury, il résulterait que ces robinets font un bon usage.

La robinetterie est aujourd'hui assez bien exécutée, tant en France qu'à l'étranger, par un certain nombre de maisons, dont il serait hors de propos de mentionner ici les noms. Contentons-

nous de citer une exposition qui a vivement frappé le jury ; c'est celle de la maison J. Danks, de Melbourne (Victoria). On était loin de s'attendre à voir venir de cette colonie lointaine des pièces d'une exécution supérieure, pouvant supporter la comparaison avec les produits des meilleures maisons européennes.

Du reste, on peut dire que l'industrie de la robinetterie a fait en général des progrès sérieux; les proportions des diverses parties sont mieux étudiées et leurs fonctions mieux comprises, les matériaux sont souvent d'excellente qualité et la main-d'œuvre irréprochable. Quant à des dispositions nouvelles, on n'en rencontre qu'un bien petit nombre, et tout se borne, à peu de chose près, à ce que nous avons mentionné plus haut.

Il arrive quelquefois que l'on a besoin de maintenir dans une conduite une pression constante, malgré les variations, soit du débit de la conduite, soit de la pression dans le générateur qui l'alimente. Tel est le cas des conduites de distribution pour le chauffage des édifices; tel est aussi celui de la locomotive sans foyer, dont nous avons déjà parlé, et dans laquelle la pression d'admission aux cylindres ne doit pas varier sensiblement, tandis que la pression s'abaisse progressivement, au fur et à mesure que l'eau chaude confinée fournit du travail. Nous en verrons d'autres exemples à propos des emplois de l'air comprimé.

Pour réaliser ces conditions, on interpose, entre le générateur et la conduite, un appareil spécial appelé *détendeur* ou mieux *régulateur de pression*. Il y en a de plusieurs systèmes; mais généralement ils comportent tous les mêmes organes principaux : un piston, sur lequel agit la pression qui règne dans la conduite, un poids ou un ressort antagoniste, et un tiroir, un robinet équilibré ou autre organe analogue, mené par le piston, et disposé au point où le fluide débouche dans la conduite; si, par exemple, la pression augmente, le piston est repoussé, le tiroir qu'il commande étrangle l'arrivée de vapeur, et tend par conséquent à empêcher la pression de s'accroître; les effets inverses se produisent quand la pression diminue.

Les systèmes de détendeurs exposés reposent tous sur ces prin-

Gr. VI. — Cl. 54.

cipes, et ne diffèrent les uns des autres que par les dispositions plus ou moins heureuses des détails.

Dans le régulateur de pression de MM. Geneste et Herscher, le piston est remplacé par une boîte métallique plissée, agissant sur une soupape conique.

La maison H. Giroud, de Paris, construit depuis fort longtemps des appareils ayant pour objet de régulariser le débit ou la pression dans les conduites de gaz. M. Giroud a eu l'idée d'étendre aux conduites de vapeur les principes qui lui avaient si bien réussi dans cette application spéciale. Le régulateur de pression qu'il expose est remarquable, en ce qu'il ne renferme qu'une seule pièce mobile (fig. 16) : A est l'arrivée, B le départ de vapeur, et les mouvements du cône C, obturant partiellement l'ouverture EF, servent à faire varier le débit; ce cône est solidaire du long piston D, qui est exactement du même diamètre que EF, de sorte que les pressions s'équilibrent en amont de EF; l'ensemble n'est donc plus soumis qu'à l'action de son poids et de la pression sous la face intérieure du cône C, qui reste ainsi toujours constante. Comme détail intéressant, le piston D est sans garniture; l'étanchéité est obtenue en tournant ce piston très juste, et en le sillonnant d'une série d'étroites rainures parallèles sur une grande longueur. On fait varier la pression en B en chargeant plus ou moins la tête du piston. M. Giroud a produit des certificats provenant de maisons sérieuses, et favorables à son appareil. On remarquera que la pression ne demeure sensiblement constante qu'autant que l'ouverture annulaire, par laquelle se fait le débit autour du cône C, est très petite par rapport à la section pleine de ce cône. Il faut aussi observer que, si la position du système correspondant à une pression déterminée ne se réalise pas nécessairement, cet état d'équilibre peut être remplacé par des oscillations dont la

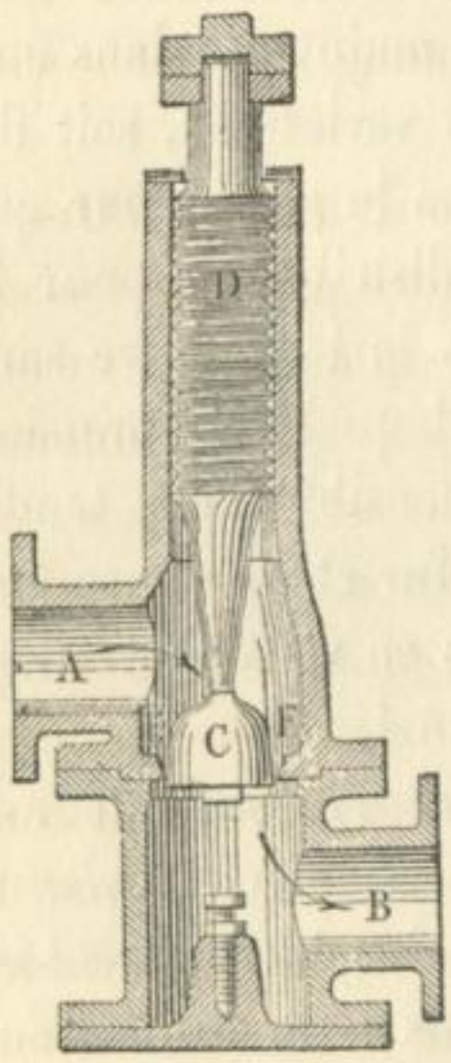


Fig. 16.
Régulateur Giroud.

durée dépendra du débit, des dimensions de la conduite à la suite et de la masse du système solidaire du cône. Ces considérations s'appliquent du reste à la plupart des appareils destinés à uniformiser un phénomène physique, et nous les retrouverons à propos des régulateurs à force centrifuge.

Dans le régulateur de M. Legat, l'obturateur de l'arrivée de vapeur est une soupape équilibrée, et le piston, qui reçoit la pression de la vapeur détendue, est formé par une membrane de caoutchouc; le poids antagoniste transmet son action au piston par une série de leviers reposant sur des couteaux.

Terminons par la revue de divers appareils de destination tout à fait spéciale, et qui ne se rattachent à aucune des catégories examinées précédemment.

Sous le nom de *thermo-régulateurs*, M. Moison, de Mouy (Oise), présente des appareils ayant pour objet de rendre pratique l'usage de la vapeur surchauffée. On a vu que l'un des plus graves inconvénients de la surchauffe, c'est qu'il faut qu'elle soit maintenue dans des limites assez étroites, sans quoi elle est inefficace, ou bien la vapeur trop chaude brûle les garnitures et fait gripper les tiroirs et pistons. Pour éviter cet inconvénient, M. Moison mélange à la vapeur surchauffée une proportion variable de vapeur saturée, de manière à ramener la surchauffe à un degré sensiblement constant; la quantité de vapeur saturée introduite est réglée par la position d'un tiroir, laquelle dépend à son tour de la température du mélange de vapeur. A cet effet cette vapeur circule au contact de systèmes dilatables diversement combinés, agissant sur le tiroir dont il vient d'être parlé : dans un des appareils, c'est un gros thermomètre, formé d'un réservoir en fer contenant du mercure, qui, par sa dilatation, pousse un piston de presse hydraulique; dans un autre cas, c'est un long tube de laiton parcouru par la vapeur. On trouve dans ces appareils des idées ingénieuses, mais l'application paraît assez éloignée.

M. Goria, d'Ancône, présente un petit outil bien entendu pour mesurer les déformations que peuvent subir les chaudières aux

Gr. VI. — Cl. 54.

épreuves, et qui permet aux agents réceptionnaires d'apporter plus de précision dans leurs opérations.

Pour compléter cette revue des accessoires de chaudières, et des divers objets destinés à en faciliter la conduite et l'entretien, il nous reste à parler des procédés en usage pour éviter les incrustations et les déperditions de chaleur.

En ce qui concerne les moyens proposés pour parer aux entartrements des générateurs, et les matières, en si grand nombre, que l'on recommande chaque jour pour cet objet, nous ne pourrions que répéter ce que nous avons dit à ce sujet dans une des sections précédentes. A part quelques dispositifs, ayant pour but de localiser les dépôts en des points de la chaudière où ils ne peuvent être nuisibles, l'Exposition n'offrait aucune recette d'un usage pratique et un peu général, et dont l'effet utile fût bien nettement établi.

Les procédés nouveaux proposés pour atténuer les déperditions de chaleur semblent avoir un meilleur succès. Depuis longtemps, pour diminuer les radiations des chaudières, tuyaux de vapeur et cylindres, on fait usage d'enveloppes en matériaux variés : paille, feutre, déchets de coton, lames d'air enfermées par des feuilles de tôle, brique pilée, escarbilles et autres corps poreux et non conducteurs de la chaleur. Quelques usines fabriquent des mastics, dits *isolants*, d'une application assez commode, mais dont l'efficacité est fort irrégulière. Le liège, soit en débris maintenus par de la grosse toile, soit en plaques serrées par des fils de fer, réussit bien. La Société anonyme des lièges appliqués à l'industrie, de Paris, s'est fait une spécialité de cet emploi du liège. Dans le même ordre d'idées, MM. Dégremont et Cie proposent un système fort simple, peu coûteux, d'un usage facile, d'un aspect très propre, et dont l'efficacité ne semble pas pouvoir être révoquée en doute : ce sont des liteaux de peuplier collés sur une toile, et qu'on applique, avec quelques pointes et tasseaux, sur les conduites à protéger.

M. L. Magniat, de Paris, propose un moyen réellement remarquable d'atténuer les pertes par rayonnement. Il se sert de laitiers de haut fourneau, de composition convenable; en saisissant ces laitiers encore fluides par un courant de vapeur rapide, il les transforme en une sorte de laine très fine et très flexible; les flocons de cette laine, disposés autour des pièces à isoler, et maintenus par une couverture en douves de bois ou en tôle, forment une enveloppe très imperméable à la chaleur, et qui présente cet avantage précieux d'être inaltérable aux fuites de vapeur. Il y a là l'utilisation fort bien réussie d'une matière sans aucune valeur, et une solution bien réussie d'un problème assez difficile.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION IV.

FOYERS, FOURNEAUX ET CHEMINÉES.

Sommaire. — Objet de cette section.

Principaux combustibles. — Houilles. — Études sur la houille. — Briquettes. — Coke. — Lignites et anthracites. — Bois. — Sciure et tannée. — Tourbe. — Paille. — Combustibles liquides, combustibles gazeux.

De la combustion. — Études récentes. — Fumivorité. — Proportions des fourneaux. — Activité de la combustion.

Revue des appareils exposés. — Grille de Schmitz. — Foyer pour brûler la paille. — Grilles de Belleville, de Henzel, de Bolzano, de Wackernie, de Carver, de Perret. — Chauffage Verdier. — Foyer Ten-Brinck. — Fumivores de Turck, de Cordier. — Foyer gazogène de Muller et Fichet. — Fourneaux de Cordier. — Cheminées. — Registres de Cleuet, de Deschamps, de Thauvoye et Dernoncourt.

Nous ne considérerons ici que les appareils de combustion ayant pour objet la production de la force motrice; les autres foyers se rattachant à des industries spéciales, métallurgie, arts chimiques, etc. etc., qui ne ressortissent pas à la classe 54, n'ont pas été examinés par le jury de cette classe, et ne seront pas mentionnés ci-après.

Les dispositions et les proportions à adopter pour les foyers, les carneaux et les cheminées dépendent non seulement de la quantité de combustible à brûler par heure, mais aussi, dans une très large mesure, des qualités si diverses des combustibles consommés; elles ne sont pas les mêmes pour la houille que pour le coke, pour le bois que pour l'anthracite, pour la tannée que pour les huiles.

Des études intéressantes sur les combustibles ont été faites dans ces dernières années; on a analysé, classé les combustibles anciennement employés, et mesuré leurs pouvoirs calorifiques. Un éminent ingénieur, M. Grüner, a résumé toutes ces données dans un magnifique ouvrage, consulté avec fruit par tous les praticiens. En outre, des recherches nouvelles ont eu pour objet des combustibles spéciaux, tels que les huiles minérales, le gaz d'éclairage, etc.,

autrefois d'un usage fort restreint, et qui aujourd'hui sont brûlés avec avantage dans un certain nombre de cas. Gr. VI. — Cl. 54.

La *houille* est restée, comme par le passé, le combustible industriel par excellence. Mais, entre des houilles de provenances diverses, il y a des différences considérables, non seulement dans le pouvoir calorifique, mais encore dans toutes les propriétés: la houille est sèche ou grasse, à courte flamme ou flambante; elle contient plus ou moins de cendres et d'humidité; elle est en morceaux plus ou moins gros; quelquefois elle est sulfureuse; d'autres fois elle décrépite au feu, ou bien encombre la grille de scories pâteuses, etc. Toutes ces propriétés influent non seulement sur la conduite du feu, mais encore sur les proportions du foyer et du fourneau, ainsi que sur le choix du type de chaudière.

Les recherches faites sur les houilles sont de deux natures: ou bien elles présentent un caractère plus particulièrement scientifique, ou bien elles constituent plutôt des essais industriels.

Les analyses exactes, la mesure du pouvoir calorifique, rentrent dans la catégorie des travaux de laboratoire.

Les formules autrefois usitées pour relier le pouvoir calorifique à la composition chimique d'une houille ont été reconnues inexactes; la houille est un produit complexe dont l'analyse élémentaire est loin de donner la composition immédiate; pendant la combustion, il se produit, entre les atomes constituants, des réactions nombreuses, qui, d'après des théories récentes, dégagent de la chaleur dans certains cas, et en absorbent dans certains autres; de sorte que la quantité totale de chaleur produite diffère notablement de la somme des quantités de chaleur que dégageraient les éléments, s'ils se combinaient directement avec l'oxygène.

La méthode calorimétrique est la seule, jusqu'ici, qui permette de mesurer avec exactitude le pouvoir calorifique d'une houille. Mais elle est d'une application fort délicate; elle exige des précautions extrêmes.

On a essayé, non sans succès, de déduire d'une manière approximative le pouvoir calorifique de la houille de sa composition élémentaire en carbone, hydrogène, oxygène et azote, au moyen

Gr. VI. — Cl. 54.

de formules purement empiriques, dont l'exactitude est suffisante dans la plupart des cas.

Signalons également les tentatives, faites de divers côtés, pour établir des formules permettant de prévoir à l'avance comment une houille de composition élémentaire donnée se comportera au feu, si elle sera sèche ou grasse, maigre ou flambante, etc. On s'est aussi efforcé de relier la composition chimique à l'âge géologique du gisement. Les résultats ainsi obtenus sont fort remarquables et suffisamment exacts dans leur ensemble. S'ils ne laissent pas que de présenter quelques exceptions, du moins on peut entrevoir déjà quelques lois générales, que des recherches ultérieures viendront sans doute préciser.

Les essais industriels sont devenus aujourd'hui d'une pratique courante; on ne passe plus guère de marchés de houille d'une certaine importance sans contrôler les livraisons par des essais pratiques de chauffage de chaudière, ainsi que par des mesurages de teneur en eau et en cendres, et des expériences de calcination. On ne peut parler des essais de cette nature, sans mentionner les belles recherches exécutées sous les auspices de la Société industrielle de Mulhouse, recherches poursuivies aussi bien au point de vue du progrès scientifique qu'à celui de l'utilité pratique, et qui ont jeté une lumière si vive sur maints problèmes obscurs touchant la combustion, les combustibles et l'emploi industriel de la chaleur.

Un des points particuliers qui ont fait l'objet des études de la Société de Mulhouse est la recherche du combustible qui est le plus avantageux, dans un cas donné, pour la production de la vapeur. C'est là une question compliquée d'une foule d'éléments d'ordre divers : le prix de la houille, son pouvoir calorifique, ses propriétés diverses, son action plus ou moins destructive sur les chaudières, la conduite plus ou moins facile du feu, les proportions à donner à la grille et à la surface de chauffe, etc. etc., tout cela est à considérer, et une méprise sur l'une de ces données peut entraîner des mécomptes importants. Les expériences précises de Mulhouse ont éclairé ces divers points, pour un certain nombre de cas particuliers.

Dans le même ordre d'idées, deux faits importants se sont accomplis dans les chemins de fer; c'est la substitution graduelle, devenue aujourd'hui tout à fait générale, de la houille au coke; c'est, postérieurement, la substitution des houilles à bas prix, menues et tout venant, aux combustibles choisis et chers, la gailletterie et la briquette, qui avaient pendant longtemps été considérés comme indispensables pour le chauffage des locomotives. C'est grâce à une étude attentive des dispositions des foyers qui conviennent le mieux à chaque espèce de combustible, et à un décompte exact des avantages et des inconvénients de toutes sortes, que cette amélioration a pu être obtenue. Il en est résulté, d'une manière générale, mais plus particulièrement pour certaines lignes de chemins de fer, des économies considérables sur les dépenses annuelles de combustible. L'usage de la houille a conduit peu à peu à l'accroissement des dimensions des grilles des locomotives; l'avantage des grands foyers, surtout pour brûler les menus, est aujourd'hui bien constaté. D'un réseau à l'autre, les dimensions des foyers varient suivant la qualité et le prix de la houille, et, réagissant sur la répartition des poids et sur les dispositions d'ensemble de la locomotive, conduisent chaque compagnie à donner la préférence à tel ou tel type de machine.

Gr. VI. — Cl. 54.

Les *agglomérés* ou *briquettes* sont d'un usage de plus en plus répandu; ce combustible est d'ordinaire d'un prix modéré et de bonne qualité; il est tiré de menus et poussiers de houille, qui, convenablement lavés, mélangés et triturés, passent à la fabrication et donnent un produit contenant relativement peu de cendres, d'un rendement élevé, facile à manipuler et s'altérant peu en magasin. Il n'y a pas bien longtemps que les charbonnages étaient fort embarrassés de ces montagnes de menus, détritus inutiles, qui restaient à l'ouverture des fosses, utilisés en petite partie par les ouvriers pour le chauffage domestique, et dont on ne savait faire le plus souvent que des remblais. La mise en valeur de ces masses considérables de rebuts et leur transformation en combustible de choix sont un des progrès importants des dernières années. De nombreuses fabriques d'agglomérés, opérant sur une large échelle, se

Gr. VI. — Cl. 54.

sont rapidement élevées dans le voisinage des exploitations de houille. Certaines compagnies de chemins de fer ont jugé avantageux de fabriquer elles-mêmes les briquettes qu'elles consomment pour le service des locomotives.

L'emploi du *coke* de houille, pour le chauffage des chaudières, prend chaque jour plus d'extension, surtout dans les grands centres de population. Le principal avantage de ce combustible est de ne pas donner de fumée; et cet avantage est, dans certains cas, tellement considérable, les inconvénients de la fumée tellement graves au milieu des lieux habités, que souvent la question d'économie passe au second rang. Les producteurs de gaz d'éclairage s'en sont bientôt rendu compte, et en ont habilement profité pour écouler les masses énormes de coke, produit accessoire et encombrant que fournissent les usines à gaz, et dont elles sont parfois fort embarrassées. Le prix du coke a été abaissé de telle sorte, que ce combustible, eu égard aux commodités d'emploi qu'il présente, puisse faire concurrence à la houille, dans la consommation industrielle des grandes villes; et l'événement a bien confirmé la sagesse de ces mesures. Le coke est entré dans les usages, non seulement pour le chauffage domestique, mais aussi pour les petites chaudières fixes et demi-fixes, celles des bateaux-omnibus, etc. Ainsi, phénomène remarquable, tandis que le coke disparaît d'une manière complète des foyers de locomotives, il reparaît comme combustible usuel, sous la pression de nouvelles nécessités, pour le chauffage des petites chaudières, pour lequel son prix élevé l'a rendu longtemps inabordable.

L'usage des *lignites* et *anthracites* s'est étendu, dans ces dernières années, par la découverte de nouveaux gisements, et une étude plus rationnelle des foyers spéciaux convenables pour ces combustibles. L'anthracite est consommé en Amérique dans les plus larges proportions.

Le *bois* devient chaque jour plus cher; ce combustible n'est guère employé que pour l'allumage et dans les pays forestiers; par

contre, la *sciure de bois* est le combustible ordinaire des scieries, et l'on est arrivé à construire des foyers spéciaux, qui utilisent convenablement, pour la production économique de la vapeur, cette matière dont le pouvoir calorifique est très faible, mais aussi qui est presque sans valeur. Il en est de même de la *tannée*. Gr. VI. — Cl. 54.

La *tourbe* n'est plus guère en usage que sur les lieux mêmes de production; elle est remplacée par la houille, au fur et à mesure que les voies de communication se perfectionnent, et que les transports deviennent moins coûteux.

Nous verrons que la *paille* est employée, dans certains cas, comme combustible, d'une manière fort heureuse.

Les *combustibles liquides* ont eu un moment quelque faveur: on utilisait ainsi les huiles lourdes, produits accessoires de la fabrication du gaz, qui étaient livrés à très bas prix. Tout le monde se souvient des belles expériences de M. Sainte-Claire Deville, ainsi que de l'usage que l'on fit des combustibles liquides pendant le siège de Paris. Mais l'utilisation de ces huiles par les fabriques de produits chimiques, notamment pour l'obtention de matières colorantes et tinctoriales, en a relevé le prix, qui est devenu à peu près inabordable pour la production de la vapeur. Les pétroles bruts et les huiles de schiste brutes sont également abandonnés en Europe, à cause des frais de transport et des droits énormes dont ces matières sont grevées; mais en Amérique, dans les districts producteurs de pétrole et dans un rayon étendu autour de ces centres, l'huile de pétrole brute est devenue un combustible usuel. Il existe aussi en Europe certaines machines motrices d'une faible puissance, qui utilisent avec avantage les huiles de gaz ou de pétrole. C'est là une exception assez rare.

Au contraire, depuis quelques années, les moteurs empruntant la chaleur à la combustion du *gaz d'éclairage* sont devenus d'un usage courant dans la petite industrie, malgré le prix très élevé de ce combustible; ce fait, qui semble étonnant au premier abord, est dû simplement à l'extrême commodité d'emploi du combustible gazeux; il suffit d'ouvrir ou de fermer un robinet pour avoir un jet de gaz ou l'interrompre, et les moyens les plus simples per-

Gr. VI. — Cl. 54.

mettent de régler le débit; les machines à gaz se mettent en train instantanément, elles cessent de consommer dès qu'elles cessent de marcher, et enfin, elles n'absorbent pas le temps d'un chauffeur; ajoutons à cela une sécurité très grande, qui permet de placer un moteur pareil dans n'importe quelle pièce d'une maison habitée. La vulgarisation du chauffage au gaz est une caractéristique remarquable des tendances de notre époque, des habitudes de précision et d'exactitude que l'industriel apporte dans le décompte des différents chefs de dépense, et dans la balance des avantages et des inconvénients que chaque mode de travail peut présenter.

Le gaz étant admis comme combustible pour les petites forces motrices, les inventeurs se sont ingéniés pour en rendre la consommation aussi faible que possible; les résultats ainsi obtenus sont réellement surprenants; certaines machines à gaz, de 1 ou 2 chevaux, fort simples de construction et de conduite, consomment moins de chaleur, pour produire un travail donné, que les machines à vapeur les plus puissantes et les plus parfaites. Partant de là, on s'est demandé quelquefois s'il ne serait pas avantageux d'échapper aux exigences des compagnies, qui font payer très cher le gaz d'éclairage, et de fabriquer à domicile un gaz spécial, mal épuré, mauvais pour l'éclairage, mais très suffisant pour le chauffage et la production de la force motrice, et dans tous les cas revenant à bas prix. Pour les petites forces, il y a là une erreur évidente : ce que l'on paye si cher, c'est avant tout la faculté d'avoir à chaque instant et sans difficulté le gaz à sa disposition, c'est-à-dire la canalisation, avec ses intérêts, son amortissement, ses fuites, ses dépenses d'entretien et autres; faire le gaz chez soi, c'est renoncer à tous ces avantages. Pour les forces considérables, il peut en être autrement, mais la question a été à peine posée jusqu'à présent.

Cependant l'emploi des combustibles gazeux fabriqués spécialement pour le chauffage est devenu vulgaire dans certaines industries; les fours à gaz de Siemens ont amené en métallurgie une véritable révolution économique; des applications extrêmement

nombreuses du chauffage au gaz, d'après différents systèmes, ont été faites à la verrerie, à la céramique, même à la fabrication du gaz d'éclairage; mais jusqu'ici, sauf une ou deux exceptions, on n'a pas cherché à s'en servir pour la production de la puissance motrice. Gr. VI. — Cl. 54.

Après avoir résumé les principaux progrès réalisés depuis quelques années dans le choix des combustibles, nous allons maintenant examiner ceux accomplis dans leur emploi.

Des études nombreuses ont été faites sur la combustion : ici, comme dans maintes questions scientifiques relatives à la production du travail au moyen de la chaleur, nous retrouvons la Société industrielle de Mulhouse. Un des faits les plus saillants qu'aient mis en lumière les recherches auxquelles elle présidait, c'est l'importance considérable exercée par l'éducation professionnelle du chauffeur. Dans les concours périodiques institués par la Société, et auxquels ne se présentent que des ouvriers habiles et éprouvés, les résultats obtenus, dans des conditions identiques, varient de 10 à 15 p. o/o; les différences seraient sans doute énormes entre chauffeurs pris au hasard, comme la chose ne se pratique que trop souvent dans l'industrie. Le fait était connu, ou plutôt soupçonné; mais des chiffres précis en pareille matière ont une valeur incontestable.

La même Société a fait étudier, avec le soin et l'exactitude que ses expérimentateurs apportent à toutes leurs recherches, les différentes conditions à remplir pour tirer du combustible le meilleur effet utile. Parmi les résultats ainsi obtenus, quelques-uns peuvent être considérés comme nouveaux et sont fort intéressants. Ainsi il a été prouvé que le carbone en suspension, qui colore si fortement la fumée de la houille, ne constitue en réalité qu'une partie très faible du combustible brûlé, et n'occasionne qu'une perte extrêmement minime; une fumée noire est sans doute l'indice d'une combustion défectueuse, mais des gaz mal brûlés et renfermant encore beaucoup d'éléments combustibles peuvent être tout à fait transparents, ou ne colorer que fort peu la fumée qui sort de la cheminée.

Gr. VI. — Cl. 54.

Les pertes de chaleur par rayonnement sont en général bien plus élevées qu'on ne le soupçonnait jusqu'alors; dans les cas d'excellent rendement, elles atteignent 20 à 25 p. o/o de la quantité totale de chaleur dégagée dans le foyer et s'élèvent souvent beaucoup plus haut.

Un autre fait inattendu a été révélé par divers expérimentateurs: c'est la grande perméabilité des briques, réfractaires et autres, qui constituent ordinairement le fourneau; la maçonnerie de brique se laisse traverser par l'air avec une extrême facilité, si bien que la cheminée emporte une quantité de gaz bien supérieure à celle qui correspond à la quantité d'air qui a traversé la grille.

Ces recherches ont confirmé, du moins dans leur ensemble, les notions qui avaient cours précédemment sur les phénomènes qui se passent dans les foyers de chaudières, et y ont ajouté une nouvelle précision. Ces notions se sont d'ailleurs répandues dans le public, et les constructeurs apprécient d'une façon de plus en plus saine les conditions d'une bonne combustion. Tout le monde sait aujourd'hui que, pour que la combustion soit satisfaisante, il ne suffit pas d'injecter dans le foyer un excès d'air; il faut encore que l'air soit intimement mélangé aux gaz combustibles, que ce mélange ait lieu à une température élevée, et que de plus la flamme ne soit pas refroidie avant que les combinaisons chimiques soient complètes.

Ce dernier point a son importance, et il se rapporte à tout un ordre d'idées nouvelles, qui ont avec la combustion une connexité immédiate; nous voulons parler des phénomènes, récemment découverts, de la dissociation. On savait que la combinaison entre l'oxygène de l'air et les éléments combustibles, carbone ou hydrogène, ne se produit qu'à une température élevée. Le fait nouveau et considérable, apporté et démontré par une des grandes autorités scientifiques de notre époque, c'est que la combinaison cesse de se produire si la température est trop haute; à une chaleur trop intense, non seulement l'eau et l'acide carbonique cessent de se former, mais ils se *dissocient*, c'est-à-dire se séparent en leurs éléments.

Du principe de la dissociation découlent des conséquences immédiatement applicables aux foyers industriels. En premier lieu, la température de la combustion ne peut en aucun cas dépasser celle de la dissociation, et l'on n'a plus à craindre de rencontrer ces températures exorbitantes, auxquelles conduirait un calcul s'appuyant sur le pouvoir calorifique des combustibles et la chaleur spécifique des corps en présence. De plus, la grande longueur de certaines flammes s'explique sans difficulté.

On voit également qu'un mélange gazeux à très haute température, c'est-à-dire dissocié, étant brusquement refroidi, par son contact avec une paroi froide, au-dessous de la température de combustion, la combinaison ne se produira pas et la flamme s'éteindra.

La découverte dont nous parlons est trop récente, pour que les résultats qu'elle doit produire aient pris tout leur développement et toute leur précision; il est à croire qu'ils ne se feront pas attendre, et que leur valeur pratique ne le cédera pas à l'importance scientifique du phénomène en lui-même.

La combustion incomplète de la houille, quelle qu'en soit d'ailleurs la cause, est accompagnée de la formation d'une fumée noire qui s'échappe par le haut de la cheminée. La teinte de cette fumée est due à un précipité plus ou moins abondant de carbone pulvérulent qui échappe à la combustion et qui colore en noir les gaz brûlés. Les houilles grasses sont celles qui donnent la fumée la plus abondante et la plus noire, par suite de la décomposition des hydrocarbures par la chaleur.

La fumée a des inconvénients dans les centres habités, non pas précisément au point de vue de la salubrité ou de la perte de combustible, mais plutôt parce qu'elle est désagréable et incommode. Le plus grand inconvénient consiste dans le trouble qu'apporte la suie en salissant tout ce qu'elle touche. Aussi s'est-on depuis longtemps préoccupé de le faire cesser, et on a imaginé un grand nombre d'appareils pour obtenir la *fumivorité*, c'est-à-dire la suppression de la fumée apparente : fumivorité ne signifie pas, en effet, combustion complète, car une fumée transparente

Gr. VI. — Cl. 54.

peut contenir des gaz combustibles incolores, comme on l'a vu plus haut. Des ordonnances ont été édictées, d'abord en Angleterre, et ensuite en France en 1854, pour enjoindre aux usiniers des villes de brûler leur fumée. Elles sont restées jusqu'ici sans résultat. Aucun appareil complètement fumivore et d'une application générale n'est encore en usage. Cependant des efforts sérieux ont été faits; certains appareils donnent, sinon la fumivorité absolue avec certaines houilles grasses, du moins une fumivorité pratiquement suffisante.

Il faut dire d'ailleurs que, dans beaucoup de cas, les inventeurs de foyers fumivores semblent s'être préoccupés beaucoup moins de supprimer les inconvénients dont se plaint le voisinage, que d'améliorer le rendement du combustible, en évitant la perte de carbone noir qui semble s'échapper en si forte proportion dans l'atmosphère; il y a là une illusion que les expériences de Mulhouse doivent dissiper.

Les appareils fumivores procèdent de l'un ou de plusieurs des principes suivants :

Chargement rationnel de la houille;
Brassage des produits gazeux à haute température;
Admission d'air supplémentaire;
Conversion préalable de la houille en gaz combustibles.

Nous aurons à en décrire quelques-uns; ils étaient bien moins nombreux en 1878 qu'aux expositions précédentes. La raison en est peut-être dans ce fait, aujourd'hui bien constaté, qu'avec une grille ordinaire, une houille mi-grasse et un fourneau bien proportionné, un chauffeur consciencieux et intelligent peut généralement arriver au degré de fumivorité obtenu par la plupart des appareils dits *fumivores*.

Nous venons de parler de fourneaux bien proportionnés; c'est là une question d'une grande importance. Dans un appareil de combustion, il est indispensable que les dimensions des diverses parties soient dans des rapports convenables les unes avec les autres, sans quoi le tirage se fait mal et la combustion est mau-

vaise; il est non moins nécessaire que les quantités de houille brûlées par heure ne soient ni trop petites ni trop grandes. Sur ce dernier objet, la pratique et les expériences des dernières années ont conduit à des résultats qu'il est bon de noter.

Pour brûler par heure une quantité donnée de houille, on peut, ou bien employer une grande grille, en tenant la combustion peu active, ou bien donner à la grille des dimensions plus petites, avec une combustion très intense. Au point de vue de l'effet utile du combustible, et avec des soins convenables, il n'y a pas de grandes différences, tant qu'on se tient entre certaines limites, qui sont d'ailleurs assez éloignées. Mais il en est tout autrement, si l'on tient compte des conditions pratiques : un feu lent est bien plus facile à conduire; il est beaucoup moins destructif pour les chaudières et les fourneaux, et encrasse moins les grilles. Aujourd'hui, dans les chaudières fixes, l'allure qui semble préférable est fort modérée, et correspond à une consommation de 500 à 700 grammes de bonne houille mi-grasse par heure et par décimètre carré de grille; ce sont des chiffres notablement inférieurs à ceux que l'on pratiquait il y a quelques années. Comme conséquence, les grilles sont plus vastes, et il y a tendance à les agrandir encore. Il est bien entendu que les grilles de grandes dimensions ne conviennent pas à tous les types de chaudières ; aussi n'hésite-t-on pas, quand c'est utile, à doubler l'activité de la combustion; pour les locomobiles, on admet les chiffres de $1^{kg},200$ à $1^{kg},500$, et celui de 2 kilogrammes et plus pour les locomotives. Ce dernier nombre est, du reste, beaucoup inférieur à ceux que l'on adoptait couramment dans les premières locomotives, où la combustion du coke se faisait à raison de 4 kilogrammes et même davantage. L'accroissement des dimensions des grilles est un des traits saillants des locomotives récentes; c'est grâce aux grandes grilles que l'on a pu remplacer le coke par la houille, puis la houille de choix par le tout-venant, tout en réduisant l'intensité du tirage, et par suite la contre-pression en arrière du piston.

Dans les bonnes installations fixes modernes, c'est surtout par la manœuvre du registre qu'est réglée l'activité du feu; et les bons chauffeurs savent tirer du registre un parti fort utile.

Gr. VI. — Cl. 54.

Après ces généralités, nous allons jeter un coup d'œil rapide sur les principaux appareils de combustion qui figuraient à l'Exposition. Ces appareils n'étaient ni très nombreux, ni en général fort importants. Quelques-uns cependant ne laissaient pas que de présenter un intérêt fort réel, et c'est à ceux-là que nous nous arrêterons de préférence.

M. Schmitz, de Paris, présente un modèle de sa grille à barreaux tournants (fig. 17); ces barreaux sont assez gros, cylindriques, creux

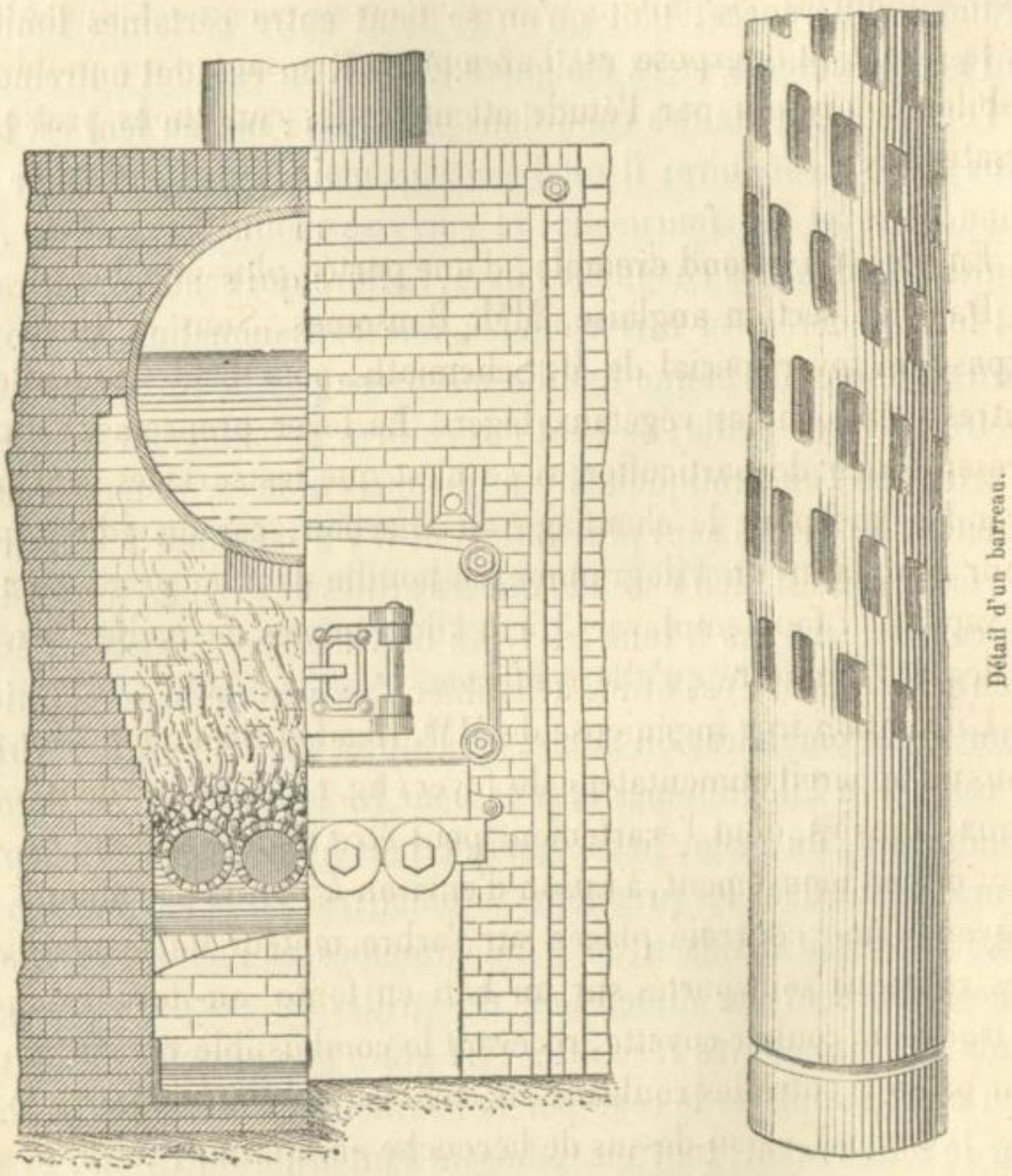


Fig. 17. — Grille à barreaux tournants de Schmitz.

et percés de trous pour l'arrivée de l'air; pour faire tomber les cendres, il suffit de faire tourner chaque barreau d'une demi-

révolution sur son axe. Cette grille est employée avec succès par la Compagnie parisienne du gaz sous les chaudières à vapeur, et sa réussite tient en grande partie à la nature spéciale du combustible. Cette compagnie écoule facilement ses cokes gros et menus; mais le poussier de coke est resté longtemps sans usage. On en tire parti aujourd'hui en en faisant des briquettes, qu'on brûle sous les chaudières. Ce combustible est très impur, il donne une grande quantité de cendres qui encombrent rapidement les grilles, rendent fort pénible le service du chauffeur, et laissent perdre beaucoup d'escarbilles. M. Schmitz a tourné ingénieusement ces difficultés, et la grille qu'il expose est l'exemple intéressant d'un problème habilement résolu par l'étude attentive des conditions pratiques à satisfaire.

En voici un second exemple, d'une portée plus étendue.

Dans la section anglaise, MM. Ransomes, Sims et Head ont exposé un foyer spécial de M. Schemioth, pour brûler la paille et autres combustibles végétaux légers. Le foyer proprement dit ne présente rien de particulier, si ce n'est que les surfaces sont plus grandes que pour le chauffage au charbon, car on admet que, pour remplacer un kilogramme de houille dans la production de la vapeur, il faut employer 3 à 4 kilogrammes de paille, suivant le degré d'humidité qu'elle renferme.

L'invention très ingénieuse de MM. Head et Schemioth consiste dans un appareil alimentateur du foyer (fig. 18). Ce sont deux rouleaux cannelés, dont l'écartement peut être réglé à volonté, et qui sont mis en mouvement, à raison d'environ 45 tours par minute, au moyen d'une courroie placée sur l'arbre moteur de la machine. Les rouleaux sont portés sur un bâti en fonte, au-devant duquel se trouve un couloir-cuvette, recevant le combustible végétal. Après son passage entre les rouleaux, le combustible entre dans le foyer à $0^m,10$ ou $0^m,12$ au-dessus de la couche en ignition, ce qui donne un allumage plus rapide que si la paille était jetée sur la grille.

L'alimentation se fait donc mécaniquement et d'une façon continue, par les pailles tenues par les rouleaux et formant gerbe à l'extrémité qui pénètre dans le foyer. Chaque brin de paille, sépa-

Gr. VI. — Cl. 54.

rément plongé dans la flamme, agite la masse à moitié brûlée, attise le feu, et lui apporte la quantité d'air nécessaire pour la

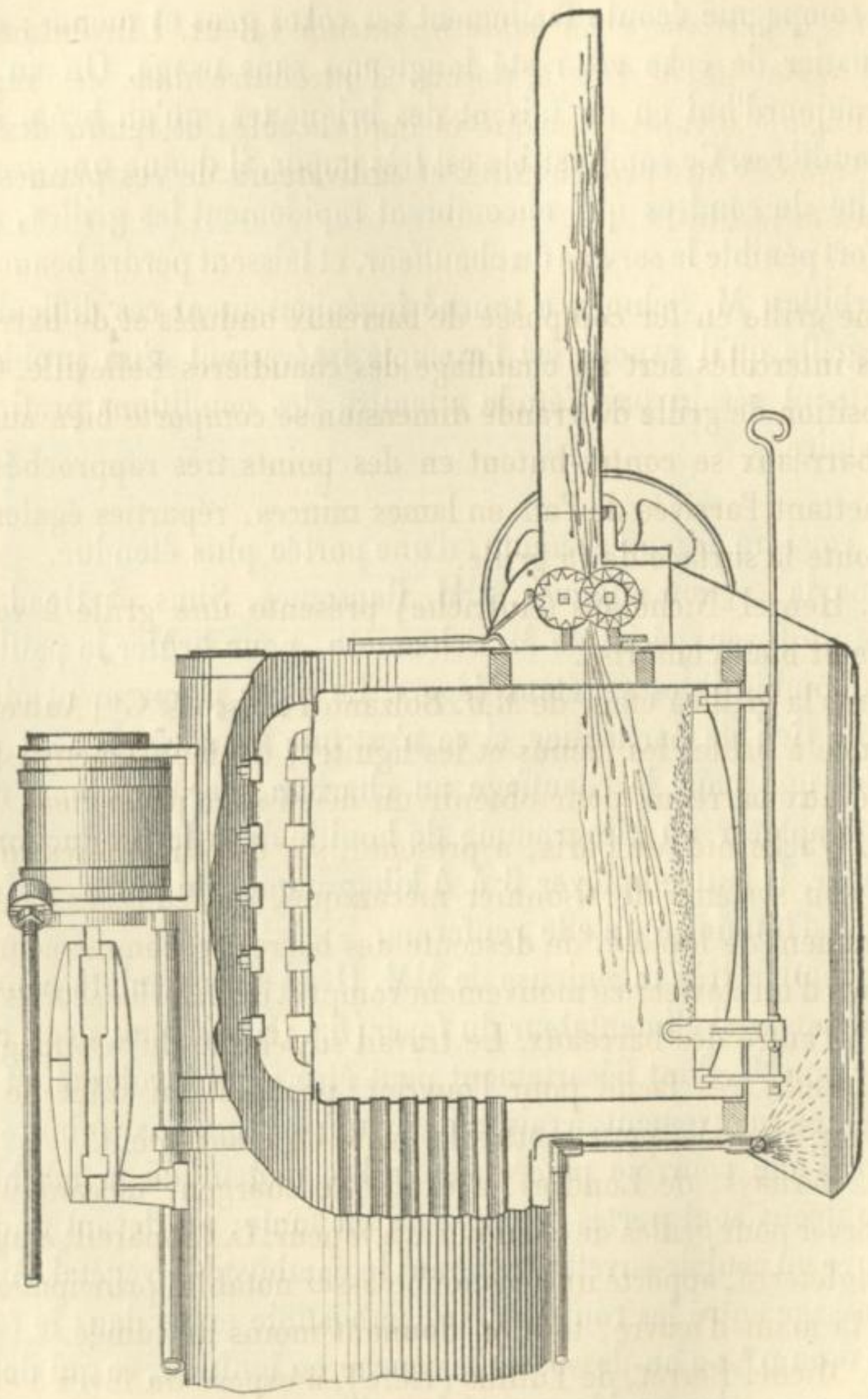


Fig. 18. — Foyer à brûler la paille de Schemioth et Head.

combustion rapide des matières végétales. Il est nécessaire d'avoir une couche d'eau au fond du cendrier pour éteindre les flammèches et empêcher ainsi les barreaux de s'échauffer.

La grille à paille rend des services considérables dans les pays à céréales, privés de voies de communication économiques, par exemple dans le midi de la Russie. Dans ces contrées, la houille ne peut pas arriver, et la paille n'a aucune valeur. L'invention que nous venons de décrire a permis d'introduire dans ces régions le battage à la vapeur, jusque-là impraticable, et rendu des services signalés aux propriétaires et cultivateurs de ces plaines immenses et fertiles.

Une grille en fer composée de barreaux ondulés et de barreaux droits intercalés sert au chauffage des chaudières Belleville. Cette disposition de grille de grande dimension se comporte bien au feu. Les barreaux se contre-butent en des points très rapprochés, en permettant l'arrivée de l'air en lames minces, réparties également sur toute la surface de la grille.

M. Henzel-Nicholaüs (Autriche) présente une grille à volets, légère et bien comprise.

Dans la grille à étage de MM. Bolzano Tedesco et Cie (Autriche), destinée à brûler les menus et les lignites, un mouvement est imprimé aux barreaux pour obtenir un décrassage permanent.

M. Wackernie, de Paris, a présenté, sur des chaudières en service, son système de tisonnier mécanique, qui consiste dans un mouvement de levée et de descente des barreaux, comme celui des touches d'un clavier; ce mouvement rompt et détache les scories d'un bout à l'autre des barreaux. Le travail si pénible du tisonnage est donc rendu très facile pour l'ouvrier, puisqu'il lui suffit de manœuvrer un levier pour mettre la grille en mouvement.

M. Bernays, de Londres, a exposé le chargeur mécanique de M. Carver pour grilles de chaudières à vapeur. Cet appareil, employé en Angleterre, apporte une économie assez notable, principalement dans la main-d'œuvre, tout en donnant moins de fumée.

M. Michel Perret, de Tullins (Isère), a exposé un foyer à étages multiples, pour brûler toute espèce de combustibles, pulvérulents et pauvres. Ce foyer présente beaucoup d'analogie avec l'appareil qui sert à la combustion de la pyrite de fer en poussière, employé par M. Perret depuis plus de quinze ans pour la fabrication de l'acide

Gr. VI. — Cl. 54.

sulfurique. Il est appelé à rendre de grands services dans certains cas particuliers, en permettant l'emploi de poussières contenant jusqu'à 75 à 80 p. o/o de cendres, qu'il ne serait pas possible de consumer autrement; mais il ne peut brûler que 10 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de l'étage de charge, c'est-à-dire par mètre carré de l'appareil en projection horizontale. Cette combustion lente conduirait à des dimensions exagérées pour les chaudières à vapeur.

Le même exposant présente un foyer pour anthracites et combustibles pulvérulents, ou qui tombent en poussière au feu; la grille est plate, composée de barreaux exactement juxtaposés et ne présentant que des fentes étroites et minces; la combustion se fait par tirage forcé, et, pour éviter la corrosion rapide de la grille, qui serait inévitable dans de pareilles conditions, chaque barreau est muni d'une nervure élevée, dont le bas plonge dans un bain d'eau maintenu au-dessous de la grille. Il paraît que ce foyer se comporte fort bien avec certains combustibles.

M. Verdier, de Paris, présente un système spécial de chauffage; la combustion se fait sous de très faibles pressions, et elle est produite par un air pauvre en oxygène, obtenu par le mélange de l'air frais avec une partie des gaz déjà brûlés pris dans la cheminée. La pression est donnée par insufflation et réglée avec soin, pour qu'elle ne dépasse pas sensiblement les résistances à vaincre dans le parcours des gaz, qui arrivent ainsi presque sans vitesse au registre de la cheminée d'évacuation. Le retour au foyer d'une partie des gaz brûlés a pour objet de réduire à environ 14 p. o/o, au lieu de 21 p. o/o, la quantité d'oxygène contenue dans l'air d'alimentation. Il en résulte une combustion bien moins vive. D'autre part, l'emploi d'une pression très faible et bien réglée, comme celle qui est obtenue dans les fours à gaz, permet de faire la combustion dans de bonnes conditions, et d'arriver à une plus grande utilisation, en réduisant notamment à leur minimum les pertes par la cheminée; des buses spéciales donnent l'air sous le cendrier à un autel creux. On parvient ainsi assez facilement à n'employer que la quantité d'air strictement nécessaire. Il paraî-

trait, d'après les certificats qui ont été produits, que ce système a procuré, dans certains cas, des économies notables.

Nous arrivons à un système de foyers fumivores qui est considéré par des ingénieurs de mérite comme résolvant, dans beaucoup de cas, le problème d'une manière très satisfaisante.

M. Ten-Brinck, de Paris, a exposé plusieurs spécimens de son foyer fumivore, et deux d'entre eux étaient en fonction sur les chaudières en feu dans la section suisse. Appliqué d'abord aux locomotives des chemins de fer de l'Est et d'Orléans, ce système a donné des résultats remarquables, au double point de vue de la fumivorité et de l'économie de combustible. La compagnie d'Orléans a aujourd'hui 670 machines, tant à voyageurs qu'à marchandises, munies du bouilleur Ten-Brinck. La figure ci-après (fig. 19) représente un foyer appliqué à une chaudière fixe. Sous le

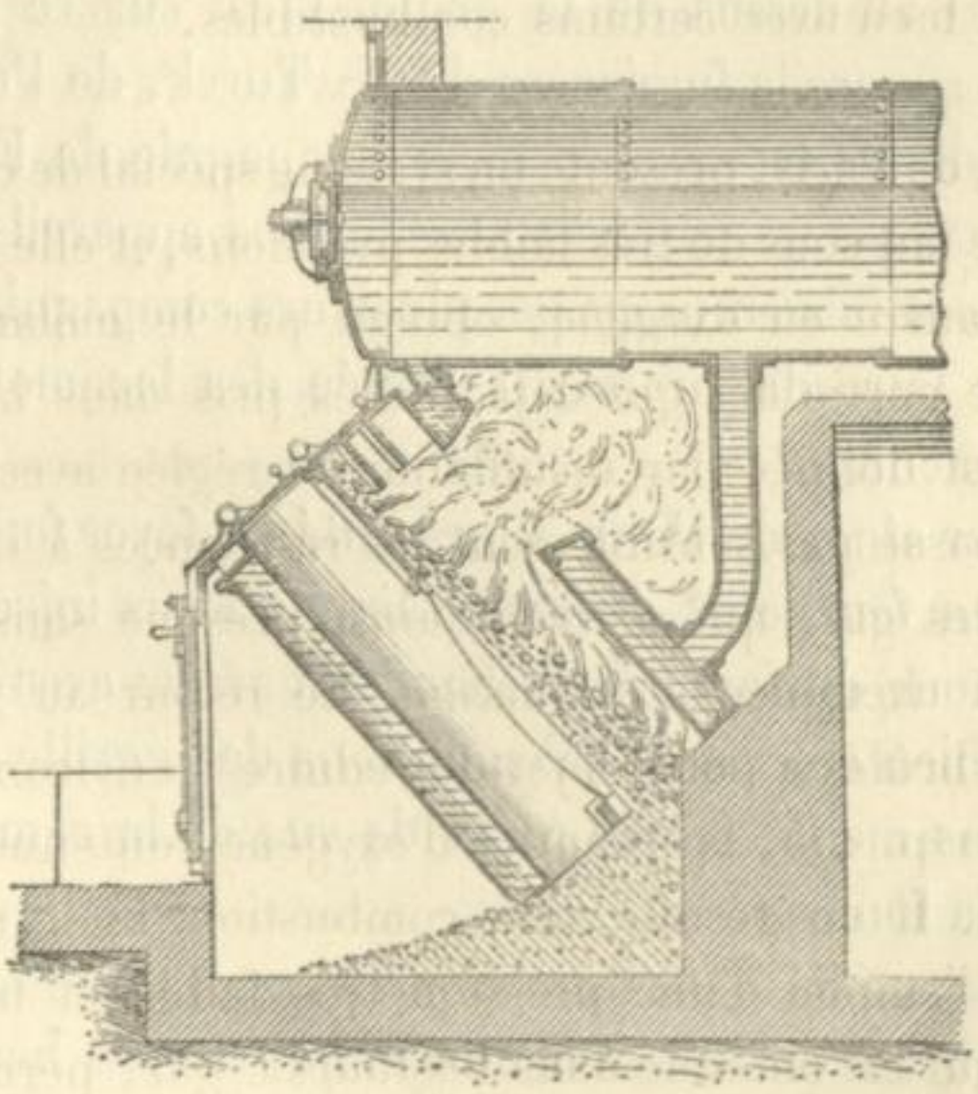


Fig. 19. — Foyer Ten-Brinck.

corps de la chaudière se trouve un bouilleur contenant un foyer intérieur, avec grille inclinée d'environ 50 degrés. L'alimentation de la grille se fait à gueulard plein, d'une façon méthodique; de-

puis son entrée jusqu'à la partie inférieure de la grille, la houille passe par les états successifs de charbon frais, charbon en distillation, charbon cokéfié et enfin de résidus ou cendres qui s'accumulent dans le bas. Des portes permettent de fermer le gueulard et le cendrier, et des clapets sont disposés pour régler l'arrivée de l'air aussi bien en dessus qu'en dessous de la grille. Les produits de la combustion s'échappent du foyer intérieur sur le point le plus élevé, c'est-à-dire en avant, de telle sorte que le brassage des gaz chauds se fasse au contact de la grille. D'expériences faites avec beaucoup de soins il semble résulter que l'application du système Ten-Brinck aurait procuré une économie importante. En ce qui concerne la fumivorité, elle est fort satisfaisante, si ce n'est du moins avec les houilles grasses et collantes.

Le brassage des flammes est obtenu artificiellement dans plusieurs appareils, dits *fumivores,* au moyen de jets d'air et de vapeur lancés au-dessus de la grille. C'est sur ce principe que reposent les appareils fumivores de M. Turck, de Paris, installés sur les chaudières en marche de la compagnie de Fives-Lille, et dont le jury a pu contrôler l'efficacité. Ces appareils, et d'autres analogues, sont mis en usage par plusieurs compagnies de chemins de fer, pour faire disparaître la fumée des locomotives pendant le stationnement.

M. Cordier aîné, de Paris, a présenté un foyer fumivore sur les chaudières en feu de M. Boyer. L'air n'est pas injecté, mais, en circulant autour du foyer, il s'échauffe et arrive avec une certaine vitesse aussi bien en dessus qu'en dessous de la grille. Il en résulte des conditions meilleures au point de vue de la combustion complète et de la fumivorité.

Arrivons à un mode de chauffage qui diffère beaucoup de la combustion ordinaire sur grille. Dans les foyers que nous avons passés en revue jusqu'ici, on cherche à produire immédiatement une combustion complète, c'est-à-dire à convertir le carbone en acide carbonique et l'hydrogène en vapeur d'eau. Dans les foyers dits *gazogènes,* le but que l'on se propose est de faire passer le com-

bustible de l'état solide à l'état gazeux. Pour cela on le charge sous une grande épaisseur, dans des appareils à combustion lente, et on produit une combustion incomplète de carbone, c'est-à-dire sa transformation, non plus en acide carbonique, mais en oxyde de carbone. Si on emploie de la houille, les hydrocarbures se dégagent par distillation, et comme ils ne peuvent pas brûler dans une atmosphère privée d'air, ils se mélangent avec l'oxyde de carbone. On obtient ainsi un combustible gazeux qui peut être dirigé et conduit au point où il est nécessaire de le brûler. En ce point, le gaz rencontre un courant d'air qui achève sa combustion. Il serait trop long, et inutile à propos des chaudières, de donner des détails sur le chauffage par gazogène, que l'on est convenu d'appeler en métallurgie *chauffage au gaz*. Qu'il nous suffise de dire que le même état physique du combustible et du comburant et leurs températures élevées peu différentes donnent la possibilité de les mélanger d'une façon intime, suivant les proportions théoriquement nécessaires pour produire une combustion complète. Celle-ci s'effectue sous une pression excessivement faible, qui n'a pas les inconvénients signalés pour les fours soufflés.

Le système de chauffage dont il s'agit, introduit par Siemens dans la pratique courante, a amené une véritable révolution dans quelques-unes des industries les plus importantes. Il ne semble pas avoir à beaucoup près le même avenir pour la production de la vapeur.

Le chauffage au gaz, appliqué aux générateurs, a été présenté par MM. Muller et Fichet, de Paris. Si on ne peut pas recommander le chauffage par gazogène comme toujours applicable avec avantage à cet usage spécial, on peut dire, toutefois, que dans certaines circonstances et avec certains combustibles spéciaux, il peut présenter un intérêt sérieux. C'est par ce mode de combustion que la fumivorité peut être obtenue de la façon la plus certaine. L'emploi en serait plus répandu, s'il était facilement applicable et avantageux pour les chaudières marchant par intermittence, avec arrêt tous les jours après la journée de travail.

MM. Muller et Fichet ont exposé quelques spécimens de foyers à gaz pour générateurs, et indiqué des dispositions d'ensemble

Gr. VI. — Cl. 54.

très bien étudiées. Comme détail important, signalons des brûleurs, à lames de gaz et d'air alternatives et parallèles, ou à lames croisées, ainsi que des dispositions spéciales destinées à brûler la tannée humide, les sciures de bois vert et certains combustibles ligniteux qui s'émiettent facilement.

Au sortir du foyer proprement dit, les flammes traversent une série de carneaux qui les conduisent au registre et, de là, à la cheminée. Les bonnes dispositions de ces différentes parties jouent un grand rôle dans la conduite du feu. Nous allons indiquer les principaux objets exposés qui s'y rapportent.

Les fourneaux d'un grand nombre de chaudières en service à l'Exposition ont été construits par M. Cordier aîné, de Paris, à qui le jury a décerné une récompense élevée, pour reconnaître les soins et l'habileté de ce constructeur, et les dispositions ingénieuses des modèles qu'il a exposés.

Plusieurs spécimens de cheminées, bien construites, élégantes même, ont été remarqués à l'Exposition. Les unes étaient en briques bien appareillées, dont le fût présentait extérieurement le fruit ordinaire de 25 à 35 millimètres. Intérieurement existaient des redans successifs de 11 centimètres, afin de donner aux parois des épaisseurs croissantes depuis le haut jusqu'en bas.

Un spécimen de cheminées en tôle a été présenté par la compagnie de Fives-Lille. Cette cheminée reposait sur un socle en fonte, et sa stabilité était assurée par des boulons de fondation, sans le secours de haubans. Les diverses dimensions ont été calculées pour résister avec sécurité à la pression des plus grands vents.

Deux systèmes de registres automatiques existaient dans la section française. L'un, du système *Cleuet*, dit registre pyrométrique, est mis en mouvement par la température même des gaz brûlés. Il se compose d'un fléau horizontal en fonte, portant le registre à une extrémité et à l'autre un contrepoids, suspendu sur une tige articulée, terminée par une aiguille avec cadran. Un tirant en cuivre rouge, fixé au fléau du côté opposé au registre, le repousse

ou l'attire suivant que la température est plus ou moins élevée. L'oscillation ainsi produite de la tige a pour effet de déplacer le contrepoids, et par suite le registre. Le mouvement automatique du registre est ainsi obtenu par la différence des dilatations de la fonte et du cuivre. Un poids, mobile sur crémaillère, permet de régler l'appareil. Lorsque la température augmente, le registre se ferme partiellement, le tirage diminue, et rend ainsi le foyer moins actif.

Un autre registre automatique non moins ingénieux a été présenté par M. Deschamps, de Lyon, comme appareil de sûreté; il est mis en mouvement par l'excès de pression dans la chaudière. Un pareil système ne saurait évidemment tenir lieu de soupape de sûreté; mais il peut faciliter la besogne du chauffeur et l'aider à maintenir une pression constante. Le registre des chaudières Belleville est fondé sur un principe analogue.

MM. Thauvoye et Dernoncourt, de Paris, ont exposé un autre modèle de registre, dont le mouvement automatique est produit par l'ouverture des portes du foyer. Lorsque, pour faire une charge, les portes s'ouvrent, un grand excès d'air se précipite dans le foyer sous l'aspiration de la cheminée; il en résulte un refroidissement momentané et une perte de chaleur. Le registre automatique évite ces inconvénients, en se fermant presque complètement lorsque les portes s'ouvrent, et en reprenant sa position normale quand elles se referment.

CHAPITRE IV.

MACHINES À VAPEUR.

SECTION I.

GÉNÉRALITÉS.

SOMMAIRE. — *Dispositions communes aux divers moteurs.* — Principaux types : machine à balancier, machine horizontale à connexion directe. — Types exceptionnels. — Pressions usitées. — Vitesses de marche.

Détails d'exécution. — Cylindre. — Piston. — Joints. — Bâti. — Condensation.

Distribution de vapeur. — Grande variété des distributions en usage. — Ancienne théorie. — Analyse générale du jeu d'une distribution. — Dispositions des lumières : deux lumières indépendantes, deux lumières rapprochées à leurs orifices; quatre lumières indépendantes. — Des distributeurs : soupapes à double siège, glissières, tiroir en coquille, distributeurs circulaires, tiroirs superposés, détente par obturation de l'arrivée de vapeur, tiroirs à jalousie. — Application aux distributions à quatre orifices. — Commande des distributeurs : excentrique circulaire combiné avec le tiroir en coquille, excentrique à ondes, distributions Farcot et Meyer; détente variable par le régulateur. — Autres distributions. — Distribution à quatre obturateurs indépendants par excentrique à ondes; Sickles, Corliss, Sulzer; distributions par déclenchement.

Travaux des expérimentateurs de Mulhouse. — Objections à l'ancienne théorie. — Influence calorifique des parois du cylindre et de l'eau adhérente.

Détente par échelons. — Son emploi exclusif dans la marine. — Système Woolf. — Système Compound.

Consommation de houille des moteurs modernes. — Comparaison avec les données théoriques. — Progrès restant à réaliser.

Avant d'étudier les moteurs à vapeur qui figuraient à l'Exposition, il ne sera pas hors de propos de jeter un coup d'œil général sur l'état actuel de cette importante question de la force motrice obtenue au moyen de la vapeur d'eau.

La machine à vapeur était représentée au Champ de Mars sous les formes les plus diverses; on la voyait à tous les degrés de puis-

Gr. VI. — Cl. 54.

sance, depuis l'immense machine marine jusqu'au modeste et léger moteur qui fait marcher la machine à coudre et épargne à l'ouvrière un travail pénible et malsain. Malgré les différences considérables qui distinguaient ces moteurs les uns des autres, presque tous comportaient les mêmes organes essentiels : 1° un piston circulaire, recevant alternativement sur ses deux faces l'action de la vapeur, glissant dans un cylindre et animé d'un mouvement rectiligne alternatif; 2° un arbre de couche animé d'un mouvement de rotation continu; et 3° une transmission de mouvement entre le piston et l'arbre de couche.

Telle était la composition de tous les moteurs de l'Exposition; il n'y avait guère d'exception que pour quelques moteurs de faible puissance, destinés à des usages tout à fait spéciaux, et sur lesquels nous aurons à revenir.

Ces trois organes fondamentaux : piston, arbre de couche, transmission, se combinent entre eux de bien des manières, et se prêtent à des variétés infinies de dispositions. Eh bien, à l'Exposition, ces variétés étaient en nombre fort restreint, et se réduisaient presque toutes à deux types bien définis :

La machine à balancier;

La machine à connexion directe.

La machine à balancier se présentait comme grande machine fixe de manufacture, avec cylindre vertical en dessous du balancier.

La machine à connexion directe offrait un grand nombre de spécimens de toutes les puissances; en général, le cylindre était horizontal, quelquefois vertical et au-dessus de l'arbre sous la forme dite *à pilon*.

Cette grande uniformité dans le dessin général et l'agencement d'organes des moteurs, d'ailleurs les plus divers, est un fait bien digne de remarque. Il faut l'attribuer, non pas à la pauvreté d'imagination des constructeurs modernes, qui font largement leurs preuves d'ingéniosité à d'autres points de vue, mais bien à une entente plus saine, à une conception plus précise des principes de la mécanique.

Il y a quelques années à peine, on voyait chaque jour surgir un nouveau type de machine à vapeur; le cylindre était en haut,

en bas ou oblique, fixe, oscillant, tournant; la transmission était droite ou en retour, etc. Chaque disposition nouvelle était préconisée et dotée d'avantages considérables, de propriétés mystérieuses, que ne pouvait guère expliquer la mécanique ordinaire.

Actuellement, les constructeurs ne se laissent plus si facilement séduire : ils savent que, quelle que soit la transmission, ils ne retrouveront pas sur l'arbre plus de travail que la vapeur n'en a développé sur le piston, et que ce travail ne résulte que des pressions de la vapeur et du volume engendré par le piston. La connaissance de ces principes, devenue vulgaire, dénote une instruction sérieuse et constitue par elle-même un progrès important.

Ce que l'on cherche aujourd'hui, c'est à simplifier les organes; on s'efforce de les rendre faciles et économiques à construire, à entretenir, à visiter et à réparer. C'est ainsi qu'on en est arrivé peu à peu à éliminer les combinaisons complexes ou bizarres, pour retomber sur un petit nombre de types, qui réunissent le mieux les qualités pratiques qu'on doit demander à une machine d'atelier.

Ce n'est pas à dire pour cela que ces types soient inflexibles; bien au contraire : rien n'est souple comme la machine à vapeur moderne; elle se métamorphose et se diversifie de mille manières, tout en conservant ses organes essentiels, pour s'adapter aux circonstances variées à l'infini du travail à accomplir; on sait très bien, quand un problème exceptionnel se présente, l'attaquer par des dispositifs spéciaux, et nos ingénieurs sont devenus, à ce point de vue, singulièrement plus hardis et plus fertiles en expédients que leurs devanciers. Nous en verrons plusieurs exemples; citons seulement les puissantes machines qui actionnent les propulseurs de nos grands navires cuirassés, machines dont les formes ramassées, les cylindres plus larges que longs, les doubles tiges avec bielles en retour et la grande vitesse de marche auraient fait reculer, il y a peu d'années, les plus audacieux constructeurs. Mais ces solutions, un peu anomales, sont sagement réservées pour les cas où elles sont indispensables. Des observations analogues peuvent être faites sur les pressions en usage.

Dans les machines fixes, qui généralement sont à condensation,

Gr. VI. — Cl. 54.

les pressions habituelles sont de 4 à 5 kilogrammes effectifs par centimètre carré; pour les machines sans condensation, elles sont de 6 à 7 kilogrammes; mais pour certains moteurs, exigeant avant tout de la puissance et de la légèreté, on va à 8, à 10 kilogrammes et au delà. D'année en année, les pressions s'élèvent graduellement, tout en restant échelonnées comme nous venons de l'indiquer, au fur et à mesure que les détails de construction, et spécialement le graissage et l'art de faire les joints, se perfectionnent.

Les vitesses de marche suivent une progression de même ordre : il y a tendance à imprimer aux machines des vitesses de plus en plus grandes; l'exemple des locomotives et, à leur suite, celui des machines marines à hélice ont 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; tout compte fait, elle donne le plus souvent un travail qui coûte moins, si l'on tient compte de l'intérêt et de l'amortissement afférent tant à l'appareil en lui-même qu'aux bâtiments et aux terrains occupés.

Des vitesses moyennes de piston de 2 mètres et plus par seconde sont couramment acceptées, même pour des machines fixes; on va beaucoup plus loin dans certains moteurs destinés à actionner directement des outils à mouvements rapides, ventilateurs, pompes centrifuges, etc.; et, en ayant soin de bien équilibrer les masses en mouvement, on ne craint pas d'imprimer parfois au piston des vitesses de 5 mètres à la seconde. D'autre part, les effets de l'inertie sont fonction, non seulement de la vitesse du piston, mais encore de sa course; les longs cylindres permettent des vitesses plus grandes que les courts.

Voici quelques indications sommaires sur les principales améliorations apportées, dans ces derniers temps, à la construction des divers organes des machines à vapeur.

Le cylindre se fait en fonte dure et à grain serré; on a généralement renoncé à couler en une seule pièce le cylindre avec son enveloppe de vapeur; l'enveloppe est coulée à part avec les lumières, les brides, les pattes et la glace du tiroir; le cylindre est ainsi réduit à un bout de tuyau, que l'on coule en fonte spéciale, et qu'on assemble à l'intérieur de l'enveloppe par un joint, d'ailleurs assez difficile à bien faire. Gr. VI. — Cl. 54.

Les garnitures de piston sont toujours métalliques, généralement en fonte, quelquefois en acier ou en bronze; la garniture suédoise, avec deux ou trois cercles simples en fonte douce, est la plus en usage; la garniture Ramsbotton, composée de quatre à six cercles minces en acier, est aussi fort employée; d'autres systèmes sont encore appliqués avec succès, et l'on possède aujourd'hui plusieurs bonnes méthodes, pour obtenir entre le piston et le cylindre un joint étanche et à frottements doux; la principale difficulté est de bien les appliquer, et, sous ce rapport, il faut le dire, beaucoup de constructions laissent à désirer. En fait, les pistons sont rarement étanches, et comme ce défaut n'est pas très facile à apercevoir sur la machine en marche, il arrive parfois que le constructeur s'en inquiète peu, qu'il livre des cylindres mal alésés, se fiant sur l'usure et le frayé pour compléter le poli; méthode désastreuse, qui augmente la dépense de vapeur dans des proportions considérables.

Les joints de vapeur se font aujourd'hui à la céruse, au minium, à l'amiante ou même à cru entre surfaces bien dressées; on emploie souvent et avec avantage le caoutchouc dans le même but; le mastic de fonte est de plus en plus abandonné, à cause de son action corrosive et de son expansion à la prise. L'usage des garnitures de presse-étoupe en métal fusible, qui se laisse comprimer lorsqu'il est chaud, s'est beaucoup répandu, surtout pour les machines rapides; ce procédé exige d'ailleurs un montage fort exact des glissières.

Les diverses articulations se font généralement d'une manière simple; on ménage avec soin le graissage et le rattrapage du jeu; dans quelques cas cependant, on a jugé plus avantageux de substituer aux coussinets en deux pièces de simples bagues, alésées

Gr. VI. — Cl. 54.

justes, qu'on remplace dès qu'elles laissent du jeu. Les antifrictions et le bronze phosphoreux sont entrés dans la pratique courante d'un certain nombre de maisons. Comme conséquence des grandes vitesses aujourd'hui en usage, il y a tendance à augmenter l'étendue des contacts entre pièces frottantes.

Le bâti dit *américain* est devenu fort à la mode; il se compose, comme on sait, d'une solide poutre horizontale, fixée d'une part au cylindre, de l'autre au palier de l'arbre de couche, et portant les glissières; cette poutre ne touche pas à la maçonnerie, toute la machine est portée par deux pattes, assemblées au palier et au cylindre, et se trouve ainsi en partie soustraite aux effets des tassements des fondations. Cette construction est légère et solide; mais elle n'est pas à l'abri de toute objection : on lui reproche de gêner la dilatation du cylindre, et de céder trop facilement aux efforts résultant de l'obliquité de la bielle. Cependant beaucoup de machines établies dans ce système fonctionnent d'une manière irréprochable. Quelques constructeurs placent le cylindre complètement en porte à faux, de telle sorte qu'il puisse se dilater en toute liberté.

La condensation par injection d'eau, à l'état de lames ou de jets lancés avec vitesse, est de plus en plus pratiquée. Le condenseur par surface n'est en usage sur terre que dans des cas fort rares; quelquefois il est refroidi extérieurement par de l'eau en pluie.

On ne craint pas aujourd'hui d'imprimer au piston de la pompe à air des vitesses fort grandes, en le dessinant suivant des formes convenables, et en donnant aux clapets de larges sections. Les clapets en caoutchouc sont devenus d'un usage général pour les pompes à air; ils donnent beaucoup de douceur au mouvement, même aux grandes vitesses, et se conservent longtemps lorsqu'ils sont bien établis et que la matière est de bonne qualité. Du reste la pompe à air est placée dans toutes les positions, horizontale, verticale ou inclinée, et commandée soit par balancier, soit par contre-manivelle, soit même par engrenages.

Dans plusieurs machines de l'Exposition, le piston de la pompe à air était enfilé sur la tige prolongée du piston à vapeur; cette disposition a été critiquée; on lui a reproché de gêner l'écoulement

de la vapeur et surtout de l'eau condensée sortant du cylindre; il serait intéressant de voir, par expérience directe, dans quelle mesure ce reproche est fondé. Gr. VI. — Cl. 54.

Les condenseurs éjecteurs, agissant plus ou moins à la manière de l'injecteur Giffard, ont donné lieu à quelques essais, mais ces appareils sont encore peu répandus dans la pratique.

Comme tous les mécanismes de l'Exposition, les machines à vapeur présentaient en général une exécution excellente et fort soignée; les pièces sont bien dessinées, de proportions presque toujours bonnes et quelquefois élégantes, quoique sans ornementation superflue; les matières sont bien choisies, le travail de forge ou de moulage très satisfaisant; quelques pièces de forge et de chaudronnerie étaient d'une perfection extraordinaire; l'ajustage et le montage sont précis, et les articulations jouent facilement et sans bruit; le travail à la lime est de plus en plus remplacé par celui de la machine-outil, et, dans certains ateliers, les pièces, au sortir du tour, de la mortaiseuse ou de la raboteuse, n'ont plus besoin d'aucune retouche.

C'est dans l'ensemble de ces améliorations, fort importantes pour la bonne marche des machines, et représentant en définitive l'expérience et l'étude persévérante d'un grand nombre de praticiens distingués, que se trouve peut-être le progrès le plus nettement tangible qui ait été réalisé dans les dernières années.

La question de la distribution de vapeur est une des plus délicates qui puissent se présenter. Si les idées semblent aujourd'hui bien fixées au sujet de la mécanique des organes solides de la machine à vapeur, il en est tout autrement dès qu'on en arrive au jeu de ce fluide élastique, qui est l'âme de nos moteurs, à la vapeur, à ses propriétés et à son action dynamique; ici tout devient matière à contestation, et le nombre formidable de systèmes de distribution, adaptés aux diverses machines de l'Exposition, témoigne hautement de l'obscurité qui règne sur la question. Chaque constructeur, pour ainsi dire, a son dispositif de détente, spécial, exclusif, supérieur à tout autre; et nous voyons reparaître ici des discussions confuses, comme celles qui s'agitaient il y a quelque

Gr. VI. — Cl. 54.

vingt ans à propos des dispositions cinématiques de la transmission, et auxquelles nous avons déjà fait allusion.

Essayons de mettre un peu d'ordre et de lumière dans ce chaos; il nous faut pour cela remonter à l'origine du problème.

Le but important, essentiel, poursuivi par les inventeurs des distributions nouvelles, proclamé par tous les prospectus, c'est de réduire la quantité de vapeur qu'il faut dépenser pour produire un travail donné.

Il convient donc de comparer, dans chaque système, le travail développé sur le piston à la vapeur dépensée par coup de piston.

Les *diagrammes*, relevés au moyen de l'indicateur de Watt, permettent de calculer exactement le travail. Quant au poids de vapeur emprunté à la chaudière, il semble naturel de le déduire du volume occupé par la vapeur dans le cylindre à la fin de l'admission, en le multipliant par le poids spécifique de cette vapeur; ce poids spécifique, pour la vapeur saturée, se calcule aisément au moyen de la pression et des tables de densité. Telle est la méthode appliquée journellement. Tout en faisant nos réserves sur le degré de confiance qu'il convient d'y accorder, supposons-la provisoirement exacte.

Dans cette hypothèse, les deux termes corrélatifs, quantité de travail et quantité de vapeur, sont connus pour une distribution donnée. Que si maintenant l'on se propose d'augmenter le rapport de ces deux quantités, d'obtenir beaucoup de travail en dépensant peu de vapeur, il faut réaliser les conditions suivantes :

Réduire beaucoup l'admission et prolonger la période de détente;

Couper brusquement l'arrivée de vapeur à la fin de l'admission, éviter avec soin les *étirages de vapeur;*

Réduire autant que possible les *espaces nuisibles.*

C'est dans ces termes que s'est posé, jusqu'à ces derniers temps, le problème de la distribution. Des efforts considérables ont été faits pour arriver à le résoudre d'une manière plus ou moins parfaite; on a combiné dans ce but les dispositions les plus variées, les plus ingénieuses. Pour nous rendre un compte exact des

idées qui ont guidé les constructeurs dans l'établissement de ces nombreux dispositifs, il ne sera pas hors de propos d'analyser sommairement les divers organes en usage et de résumer les quelques principes généraux qui président au jeu de ces organes.

Le cycle complet des actions de la vapeur sur chacune des faces du piston, pendant une révolution de la machine, comprend trois phases principales qui sont : la *pleine pression*, la *détente* et l'*échappement*, et des phases accessoires : *admission* et *échappement anticipés*, *compression*.

Pour arriver dans le cylindre et pour en sortir, la vapeur parcourt des conduits spéciaux ou *lumières*, qui sont ouverts et fermés au moment voulu par des *distributeurs* appropriés; ces distributeurs ont, en conséquence, à exécuter quatre opérations distinctes, savoir : l'*ouverture* et la *fermeture* de l'admission, l'*ouverture* et la *fermeture* de l'échappement.

Commençons par examiner les dispositions diverses que peuvent prendre les lumières.

Dans la plupart des cas, une lumière unique à chaque bout du cylindre sert à la fois pour l'admission et pour l'échappement.

Une première disposition consiste à faire cette lumière très courte, de manière à diminuer les espaces nuisibles; dans ce système, les deux lumières qui arment les extrémités du cylindre peuvent être commandées par des distributeurs indépendants, ou bien, comme dans la distribution de Watt, fermées et ouvertes par un organe unique s'étendant de l'une à l'autre.

Souvent aussi les deux lumières, aboutissant aux deux extrémités du cylindre, se recourbent et se rapprochent, pour venir déboucher, tout près l'une de l'autre, au contact d'un distributeur unique; comme principe, c'est la distribution de Watt; mais comme question pratique, le distributeur est ici une pièce de petite dimension, dont le mouvement détermine successivement l'admission et l'échappement sur les deux faces du piston. Tel est le système de distribution qui réduit au minimum le poids des pièces en mouvement et le nombre d'articulations : il est réalisé par le tiroir dit *en coquille*, appliqué dans tous les cas où la légèreté et la facilité

Gr. VI. — Cl. 54.

d'entretien sont des qualités indispensables, et c'est le seul, ou à peu près, admis pour les locomotives et les locomobiles.

A côté de cette simplicité extrême, si avantageuse et si recherchée, la distribution par tiroir en coquille présente quelques inconvénients : les lumières ayant une certaine longueur, le volume des espaces nuisibles se trouve notablement accru ; en outre, le système se prête mal à une détente prolongée, parce que les différentes fonctions que doit remplir le tiroir sont subordonnées les unes aux autres.

Si l'on tient à une solution exacte et précise, il convient de répartir ces fonctions entre plusieurs organes indépendants, de réaliser, pour ainsi dire, l'analyse de ce problème complexe. On en arrive ainsi à attribuer à chaque lumière un rôle distinct : par suite, à pratiquer, près de chaque fond du cylindre, deux lumières, l'une pour l'admission, l'autre pour l'échappement, et à commander chacune de ces lumières par un distributeur spécial, qui n'a plus alors qu'à ouvrir et à fermer l'orifice au moment voulu.

Ce système est beaucoup plus compliqué que le précédent : il exige quatre distributeurs au lieu d'un seul, et quatre transmissions. Mais, outre les avantages précieux que nous venons de discuter, il présente celui de la réduction des espaces nuisibles, résultant de la diminution de la longueur des lumières. Aussi se trouve-t-il appliqué sur un grand nombre de machines puissantes de l'Exposition : machines Corliss, Sulzer, Escher Wyss et Cie, Claparède, Farcot, Artige, Seraing, etc. etc. Quant à la disposition même des quatre lumières, tantôt elles sont portées par le cylindre même, tantôt elles sont pratiquées dans les fonds.

Il est utile, dans tous les cas, et surtout pour les machines à condensation, que les ouvertures des lumières d'échappement se présentent sur l'arête inférieure du cylindre, et constituent ainsi une purge continue des eaux condensées, dont la présence dans le cylindre entraîne des effets désastreux au point de vue de la dépense de vapeur.

Pour résumer ce qui précède, nous voyons que les lumières affectent trois dispositifs principaux :

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

2° Deux lumières courtes : organes en général plus simples.

3° Deux lumières rapprochées à leurs orifices extérieurs et distributeur unique : distribution très simple comme organes, plus imparfaite comme fonctions; espaces nuisibles plus grands.

Chacun de ces dispositifs peut se combiner avec la plupart des très nombreux systèmes de distributeurs que nous allons rapidement passer en revue.

Les distributeurs, ou obturateurs, destinés à fermer et ouvrir en temps utile les orifices donnant passage à la vapeur, se rapportent à deux classes principales :

Les *soupapes*, obturateurs qui se soulèvent en s'éloignant de l'orifice;

Les *glissières*, qui glissent en restant en contact avec une glace qui termine l'orifice.

Ces deux classes d'obturateurs, dans leur essence aussi bien que dans leurs formes principales, sont d'invention fort ancienne; mais les applications qu'on voyait à l'Exposition sont tellement variées et nombreuses, qu'il est nécessaire d'insister un peu sur ce sujet.

Pour soulever une soupape chargée par la pression de la vapeur, il faut un effort plus grand que pour déplacer une glissière, dont le frottement n'est qu'une fraction de la pression normale qui agit sur elle. Toutefois l'effort qui tend à appliquer la soupape sur son siège décroît rapidement, pour peu qu'elle s'en éloigne; de sorte qu'en définitive le travail absorbé par la commande de la soupape peut devenir très petit. Cet effort est lui-même considérablement réduit, si l'on a recours à la disposition spéciale connue sous le nom de *soupape à double siège*, et employée depuis fort longtemps dans les machines d'épuisement de Cornouailles; ce n'est plus guère que sous cette dernière forme que la soupape est usitée aujourd'hui comme distributeur de vapeur. La soupape à double siège, inventée, dit-on, par Hornblower, il y a près d'un siècle, a été beaucoup perfectionnée dans ces dernières années par les frères Sulzer, de Winterthur, habiles constructeurs, qui ont largement

Gr. VI. — Cl. 54.

étendu l'usage de cet organe, et l'ont rendu à la fois étanche et durable. La soupape à double siège s'applique tout spécialement aux cas où la distribution se fait par quatre lumières indépendantes.

Les obturateurs en forme de glissières peuvent au contraire être adaptés à tous les dispositifs de lumière précédemment examinés. La surface de glissement ou *glace* est tantôt plane, c'est le cas le plus ordinaire, tantôt cylindrique, ou plus ou moins conique, et le mouvement peut être soit alternatif, soit continu; cette catégorie d'obturateurs se prête ainsi aux circonstances les plus variées.

A cette classe se rapporte le distributeur de beaucoup le plus usuel, le *tiroir en coquille:* la glace est plane et le mouvement du tiroir alternatif, ce qui fait que, par ses *lèvres extérieures,* il couvre et découvre successivement les deux lumières à l'admission de la vapeur, qui remplit l'espace placé au-dessus du tiroir ou *boîte à vapeur;* entre les orifices de ces deux lumières vient déboucher sur la glace un troisième orifice, l'orifice d'échappement, en regard duquel est pratiqué un creux dans le tiroir; quand ce creux se trouve comprendre à la fois l'une des lumières et l'orifice intermédiaire, le côté correspondant du cylindre est mis en communication avec l'échappement.

Ce mode de distribution est fort répandu; à côté de l'extrême simplicité, qui en fait le principal mérite, il présente quelques inconvénients, que nous avons déjà signalés, et ne permet guère de pousser la détente un peu loin, sans s'écarter beaucoup des conditions théoriques d'une bonne marche. La surface par laquelle ce tiroir repose sur la glace embrasse à la fois les trois orifices, plus les *recouvrements* extérieurs; elle est donc assez grande; d'autre part, le dessous du tiroir est constamment en communication avec l'échappement; la résultante des pressions qui appuient le tiroir sur la glace est donc considérable, et par suite le travail absorbé pour mouvoir cet organe est assez important. Mais, d'un autre côté, cette pression assure l'étanchéité, même après une usure fort notable, ce qui n'est pas un faible avantage. Néanmoins, pour les très grands tiroirs, il convient de modérer cette pression; et l'on y parvient par des dispositions spéciales, qui sont plus particulièrement ap-

propriées aux puissantes machines de la marine, et dont nous n'avons pas à nous occuper autrement. Gr. VI. — Cl. 54.

Le tiroir en coquille simple présente un grand nombre de dérivés, parmi lesquels il est intéressant de mentionner la distribution des appareils de M. Schmid, de Zurich : la glace est cylindrique, et c'est elle qui se meut par rapport au tiroir, lequel est fixe; ce mouvement est déterminé par l'oscillation du cylindre autour d'un axe transversal, combinaison ingénieuse et très simple de construction.

On peut encore citer, comme dérivés du tiroir en coquille, les robinets tournants à plusieurs voies, proposés par Denis Papin il y a près de deux siècles, appliqués par *Maudslay* à un grand nombre de bons et puissants appareils, et que nous verrons réapparaître dans les machines les plus modernes. Le robinet tournant présente cette particularité, qu'il peut être animé d'un mouvement de rotation continue, et donner, dans ces conditions, une distribution dont les phases ne dépendent plus que des ouvertures des différentes voies; il échappe donc, sous cette forme, aux sujétions contradictoires du tiroir plat à mouvement alternatif. C'est ainsi qu'il a été appliqué très heureusement pour opérer la distribution dans les machines à trois cylindres et à grande vitesse de Brotherood, dont on voyait à l'Exposition plusieurs exemplaires.

Avec les moyens ordinairement usités pour imprimer au tiroir en coquille son mouvement alternatif, il n'est pas facile d'obtenir, dans de bonnes conditions, une détente prolongée. Les tentatives qui ont été faites pour corriger ce défaut se trouvaient, pour la plupart, représentées à l'Exposition, au moins dans leurs parties essentielles. Le procédé suivant a été employé par un grand nombre de bons constructeurs : le tiroir en coquille ordinaire est compris dans un bloc de métal, vers les extrémités duquel sont percées deux lumières, qui laissent pénétrer librement la vapeur dans le cylindre lorsqu'elles correspondent avec les orifices d'admission. Ces deux lumières aboutissent sur le dos du tiroir, lequel est dressé suivant un plan parallèle à la glace, et constitue lui-même une glace, sur laquelle glissent des obturateurs convenables. Le tiroir distribue à la façon ordinaire; mais, à un moment donné, les obturateurs

Gr. VI. — Cl. 54.

viennent fermer les lumières pratiquées dans le tiroir, la vapeur est coupée et la détente commence. Telle est la *détente par tiroirs superposés.*

Les distributions si connues sous les noms de *Meyer* et de *Farcot* rentrent dans cette catégorie.

Un autre procédé très usité, c'est la *détente par obturation de l'arrivée de vapeur :* la vapeur est coupée, au moment voulu, par un obturateur spécial, glissière ou soupape, avant l'entrée dans la boîte à vapeur. Ce système a l'inconvénient d'augmenter dans une large mesure les espaces nuisibles, puisque le volume qui se détend comprend, non seulement les lumières, mais encore la boîte à vapeur. Toutefois le résultat est moins fâcheux qu'on ne pourrait le croire au premier abord, car si la boîte à vapeur communique avec le cylindre pendant une partie plus ou moins grande de la détente, elle n'est pas, comme les lumières, en communication avec lui pendant l'échappement, ce qui atténue notablement l'influence nuisible de ce volume supplémentaire.

On donne souvent à l'obturateur d'arrivée de vapeur la forme d'un *tiroir à jalousie,* c'est-à-dire d'une plaque percée d'un plus ou moins grand nombre de lumières étroites, correspondant à des orifices égaux pratiqués à travers la glace sur laquelle il glisse; quand les lumières sont vis-à-vis des orifices, la vapeur passe librement; mais un faible mouvement de la plaque suffit pour fermer toutes les ouvertures.

Une disposition de cette nature a été appliquée à la machine remarquable qui donnait le mouvement à la section américaine, la machine de Wheelock. Mais ici, les deux lumières du cylindre sont très courtes et desservies par deux distributions indépendantes; les distributeurs sont des tiroirs tournant dans une boîte étroite, dont l'entrée est fermée par un obturateur circulaire à jalousie.

Lorsque le cylindre porte quatre lumières indépendantes, les conditions de la distribution deviennent beaucoup plus élastiques, et, dans ce champ très vaste, les inventeurs peuvent lâcher la bride à leur imagination; aussi voit-on apparaître les systèmes les plus variés: tiroirs plats, tiroirs tournants, simples ou à jalousie, soupapes équilibrées, etc.

Nous avons passé en revue les principaux systèmes de distributeurs que l'on pouvait voir à l'Exposition. Voyons maintenant comment le mouvement est donné à ces distributeurs. Gr. VI. — Cl. 54.

La transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en un mouvement circulaire continu de l'arbre de couche se fait au moyen d'une tige, d'une bielle et d'une manivelle. C'est une transmission analogue, mais inverse, qui sert, dans la plupart des cas, à renvoyer le mouvement de rotation de l'arbre de couche au tiroir, et qui le transforme en mouvement rectiligne alternatif, au moyen d'une manivelle, d'une bielle et d'une tige guidée.

Le plus souvent, la manivelle ordinaire est remplacée par l'*excentrique circulaire,* organe dont les fonctions cinématiques sont les mêmes, mais dont la construction est plus simple, eu égard à la faible valeur des efforts à transmettre. Quelquefois, suivant des exigences diverses, des appareils intermédiaires, engrenages ou leviers, sont placés sur le parcours de cette transmission, sans en changer le mode de fonctionnement.

L'excentrique circulaire combiné avec le tiroir en coquille, telle est la distribution simple par excellence, la plus sûre dans sa marche, la moins coûteuse de construction et d'entretien.

Malheureusement, cette combinaison présente un inconvénient qui la fait généralement écarter, lorsque l'on vise à l'économie de vapeur : elle ne peut donner une détente prolongée sans entraîner une perturbation profonde dans les conditions théoriques des autres phases de la distribution, et la raison en est bien simple. Pour établir les proportions de l'organisme dont il s'agit, on dispose de trois éléments : l'angle de l'excentrique avec la manivelle, et les *recouvrements intérieur* et *extérieur,* ou excédents de largeur des bords du tiroir sur les orifices des lumières ; mais les conditions à remplir pour réaliser une distribution déterminée sont au nombre de quatre : ouverture et fermeture de l'admission, ouverture et fermeture de l'échappement; on a donc trois éléments pour satisfaire à quatre conditions, c'est-à-dire que, d'une manière générale, le problème est impossible.

Ce système convient très bien pour les longues admissions ; mais dès que la détente est un peu prolongée, les diverses avances pren-

Gr. VI. — Cl. 54.

nent des valeurs considérables, et la fermeture des orifices ne se fait plus que lentement.

On voit que, dans cette distribution, pour obtenir l'extrême simplification des mécanismes, il a fallu accumuler, sur un même organe, le tiroir, les fonctions multiples de la distribution; c'est une véritable synthèse, mais une synthèse imparfaite.

Pour répondre complètement aux conditions théoriques, il est nécessaire que le mécanisme offre plus de latitude et d'élasticité, il faut que les fonctions soient moins étroitement concentrées.

Une première solution consiste à remplacer l'excentrique circulaire par un excentrique à *ondes*, qui permet, par une taille convenable de son périmètre, d'imprimer au tiroir un mouvement suivant une loi arbitrairement donnée. Ce moyen, sur lequel nous aurons à revenir, n'est appliqué jusqu'ici que dans des cas particuliers. L'excentrique à ondes communique aux organes des vitesses rapidement variables, et non pas, comme l'excentrique circulaire, ces mouvements doux et réguliers, si favorables à la conservation des organes.

Pour obtenir par l'excentrique circulaire les effets de l'excentrique à ondes, on a recours aux distributions par tiroirs superposés, dans lesquelles les fonctions se répartissent comme il suit : le tiroir principal, mû par un excentrique circulaire, donne à la manière ordinaire l'ouverture et la fermeture de l'échappement, et l'ouverture de l'admission; la glissière superposée au tiroir coupe la vapeur au moment voulu, et produit la fermeture de l'admission.

Quant au mouvement de la glissière, il est obtenu par deux moyens principaux :

Dans la distribution Farcot, la glissière ou *tuile* est à jalousie; elle est entraînée par le tiroir principal, jusqu'au moment où elle vient buter contre un arrêt fixe, qui la fait glisser sur le dos du tiroir et détermine la fermeture des orifices.

Dans la distribution Meyer, la glissière est commandée directement par un excentrique circulaire, distinct de l'excentrique qui actionne le tiroir.

Ces deux systèmes, déjà anciens et très répandus, ont fait largement leurs preuves: comme simplicité, comme facilité d'entretien,

ils ne laissent rien à désirer; ils opèrent la distribution dans des conditions très satisfaisantes, et des ingénieurs fort expérimentés les tiennent pour tout aussi bons que les systèmes plus compliqués qui ont été proposés récemment. Ils présentent d'ailleurs certains caractères spéciaux, qui les différencient l'un de l'autre. Gr. VI. — Cl. 54.

La distribution Meyer, disposant d'un plus grand nombre d'éléments arbitraires, est plus élastique; elle permet de faire varier la détente dans les plus larges limites, tout en conservant aux diverses avances les valeurs les plus convenables; elle s'applique également bien à toutes les vitesses de marche.

La distribution Farcot ne convient que pour les détentes prolongées, avec des avances faibles et des vitesses modérées. L'une et l'autre permettent de modifier la détente pendant la marche, de manière à accommoder la puissance de la machine aux résistances qu'elle a à surmonter. Mais, à ce point de vue, la distribution Farcot présente un avantage important: la modification de la détente se fait au moyen d'un organe dont le mouvement se produit sans résistance sensible; de sorte qu'elle peut être commandée directement par le régulateur à force centrifuge.

La distribution Farcot est considérée comme la première qui ait réalisé pratiquement la détente variable par le régulateur.

Jusque-là, le régulateur agissait sur un papillon, c'est-à-dire que la variation de la puissance motrice pendant la marche s'obtenait en étranglant plus ou moins la vapeur, au grand détriment du rendement, d'après les idées théoriques ayant cours.

On a essayé d'appliquer à la détente Meyer la commande par le régulateur. L'Exposition offrait à ce point de vue quelques tentatives intéressantes, sur lesquelles nous aurons à revenir.

Plusieurs machines de l'Exposition présentaient des combinaisons cinématiques nouvelles et remarquables, pour donner le mouvement aux distributeurs; ces combinaisons n'offrent pas le même degré de généralité que les précédentes; la plupart d'entre elles se rapportaient à des distributions par quatre lumières indépendantes, auxquelles nous arrivons actuellement.

Les obturateurs pour lumières indépendantes sont beaucoup

Gr. VI. — Cl. 54.

plus légers, et peuvent recevoir, sans inconvénient, des mouvements plus saccadés que les tiroirs ordinaires; aussi leur voit-on fréquemment appliquer la commande par excentriques à ondes, qui prennent la forme de *manchons à bosses* dans le cas de la détente variable, et peuvent facilement être gouvernés par le régulateur. On remarquait cette application sur plusieurs bonnes machines de l'Exposition : celles de Seraing pour laminoirs, d'Artige, de Claparède, etc.

Disons toutefois que ce mode de commande est beaucoup moins usité que celui dont nous allons parler maintenant.

Nous avons vu que les conditions admises pour obtenir de la vapeur un rendement mécanique élevé se résument comme il suit : longue détente, espaces nuisibles faibles, suppression des étirages, et, comme corollaire, dans le cas de résistances variables, détente variable commandée par le régulateur.

Les ingénieurs américains, sortant hardiment des voies pratiquées en Europe, ont donné au problème dont il s'agit une solution d'une netteté remarquable. Frédéric Sickles se fit breveter vers 1841 pour *la détente par déclenchement;* il imagina également le frein à air qui sert à amortir le choc produit par le déclenchement; il appliquait ce système de commande à des soupapes de Cornouailles, au nombre de quatre par cylindre à vapeur, deux à l'admission, deux à l'échappement. George Corliss combina ces éléments avec le distributeur tournant de Maudslay, et y adapta, en 1849, la commande par le régulateur à force centrifuge. La machine de Corliss, ainsi constituée, satisfait avec une précision merveilleuse aux conditions rappelées ci-dessus : les espaces nuisibles sont extrêmement faibles; les passages de vapeur, largement ouverts, sont coupés rapidement à la fin de l'admission; la détente est plus ou moins prolongée, suivant la position du régulateur, qui n'a à vaincre dans son mouvement que le frottement de quelques pièces légères. Aussi les diagrammes relevés sur cette machine sont dessinés comme des diagrammes théoriques, avec leurs angles vifs et leurs lignes d'admission et d'échappement horizontales.

Une machine Corliss, admirablement exécutée, fut très remarquée à l'Exposition de 1867; elle obtint une médaille d'or; il en fut de même d'une machine exposée par MM. Sulzer frères, de Winterthur, et dans laquelle la distribution était opérée par des soupapes de Cornouailles mues par un système à déclenchement. Gr. VI. — Cl. 54.

Il est certain que la détente obtenue par déclenchement n'est pas une idée nouvelle; il y a plus d'un demi-siècle que des machines à vapeur munies de distributions analogues, comme principe, à celles que nous décrivons ont été construites en France, mais le système eut peu de succès dans le public. C'est aux ingénieurs américains que revient sans conteste le mérite de l'avoir fait triompher. Ils surveillèrent avec un soin jaloux la construction et l'entretien du nouveau type qu'ils avaient imaginé; ils apportèrent, dans l'exploitation de leurs idées, le sens pratique et l'intelligence commerciale qui les caractérisent. En quelques années, les machines à déclenchement supplantèrent un grand nombre d'anciennes machines, et se répandirent rapidement en France et à l'étranger. A l'Exposition de 1878, on voyait de nombreux exemplaires de moteurs du type Corliss, du type Sulzer et d'autres distributions dérivant des mêmes principes.

La distribution par déclenchement a pour objet essentiel de fermer brusquement l'admission de vapeur au commencement de la détente. Voici, en peu de mots, en quoi elle consiste :

Le distributeur d'admission reçoit d'un excentrique un mouvement de va-et-vient, au moyen d'une transmission composée de deux parties réunies par une clenche; quand la clenche est retirée, le distributeur, sollicité par un ressort, se ferme brusquement; quant au déclenchement, il est produit par le contact de la clenche avec un arrêt dont la position est gouvernée par celle du régulateur. Pour que la fermeture du distributeur ne soit pas trop brusque, on rend cet organe solidaire d'un petit piston s'appuyant, dans un cylindre, sur un matelas d'air, qui, sous la pression du ressort, s'écoule lentement à travers un orifice dont on peut régler avec précision l'ouverture.

Le système est, comme on le voit, assez compliqué; il est composé d'un grand nombre de pièces, dont chacune peut subir mille

Gr. VI. — Cl. 54.

modifications au gré du constructeur: le distributeur est une soupape, une glissière plate ou circulaire, simple ou à jalousie; le ressort est à lames ou en spirale, il est remplacé par un poids ou par un piston à vapeur; l'excentrique fait place à une disposition cinématique quelconque; l'enclenchement peut se trouver en divers points de la transmission, et se présenter sous la forme rectiligne, circulaire ou autre.

L'ingéniosité des constructeurs s'est donné largement carrière sur ce sujet inépuisable. Chacun a imaginé sa détente par déclenchement, et l'Exposition était encombrée de ces dérivés en nombre infini d'une même idée: c'est un véritable engouement. On peut dire, sans trop s'avancer, qu'il y a là un abus; sans méconnaître la valeur de plusieurs des dispositifs proposés, on doit se demander s'ils sont toujours bien appliqués, si même les principes sur lesquels ils reposent sont à l'abri de toute critique.

C'est ce que nous allons examiner.

Les dix années qui se sont écoulées entre l'Exposition de 1867 et celle de 1878 ont été caractérisées par cette invasion, dans la mécanique, des distributions américaines.

Dans le même intervalle, il s'est produit un ensemble de faits, d'un ordre tout différent, mais d'une importance au moins aussi grande: nous voulons parler de l'étude plus complète, plus intime et en même temps plus précise des phénomènes dynamiques et thermiques dont la machine à vapeur est le siège. Cette étude, à la fois théorique et expérimentale, est due, pour la plus grande part, aux travaux de M. Hirn et de ses savants collaborateurs de la Société industrielle de Mulhouse.

La théorie rappelée plus haut, qui sert de base au calcul de la dépense de vapeur, est de la plus grande simplicité: calculer le poids d'un fluide en multipliant son volume par sa densité, rien n'est plus facile, et il semble *a priori* que l'application d'un pareil calcul à la dépense de vapeur d'un moteur ne puisse donner lieu à aucun mécompte. Malheureusement l'expérience de chaque jour donne à cette théorie un démenti formel.

Les faits, même grossièrement observés dans les ateliers, dé-

montrent qu'il faut majorer la dépense de vapeur ainsi calculée de 40, 60 p. o/o et plus, pour obtenir la dépense effective; que les étirages de vapeur, les espaces nuisibles, n'ont pas toute l'importance que leur assigne la théorie; que les détentes, prolongées au delà de certaines limites, sont très loin d'être économiques et conduisent à des consommations supérieures même à celles du travail sans détente.

Voici des faits d'une autre nature et plus frappants encore :

La théorie à laquelle nous faisons allusion ne donne pas d'explication satisfaisante de l'action, si efficace et si favorable, *des enveloppes de vapeur,* dont, par une intuition de génie, James Watt avait entouré ses cylindres.

En second lieu, la distribution des locomotives, opérée par un simple tiroir en coquille commandé par la coulisse de Stephenson, semble extrêmement défectueuse et irrégulière; les diagrammes sont largement arrondis à tous leurs angles et s'éloignent considérablement du diagramme théorique; cependant, ce n'est pas contesté, les locomotives sont d'excellentes machines, fort économiques de consommation, et les améliorations qu'on a si souvent essayé d'apporter à leur distribution ont été presque toutes laissées de côté après expérience faite.

L'étude des machines du système Woolf, dans lesquelles la détente se fait successivement dans deux ou plusieurs cylindres, conduit également à des conclusions incompatibles avec la théorie que nous discutons. D'après cette théorie, l'action d'un second cylindre serait inutile, si ce n'est nuisible : pour une même dépense de vapeur, et à égalité de détente, une machine à un seul cylindre devrait donner au moins autant de travail qu'une machine Woolf. Or, le système Woolf a toujours présenté, au moins pour les grandes machines, des avantages économiques incontestables; c'est par l'emploi de la détente dans plusieurs cylindres, du *système Compound* que l'on est arrivé, dans les machines de la marine, à réaliser des économies de consommation inespérées et presque inconnues jusque-là, malgré les conditions générales très défectueuses dans lesquelles ces machines sont placées, malgré surtout la simplicité obligatoire de leurs organes de distribution.

Gr. VI. — Cl. 54.

Plusieurs machines à détente échelonnée ont obtenu en 1878 de hautes récompenses du jury de la classe 54; et, fait à signaler, la maison Sulzer avait superposé le système Woolf à son système spécial de distribution par déclenchement.

Enfin la théorie n'explique pas mieux les résultats économiques très remarquables obtenus, depuis de longues années, au moyen des machines dites *de Cornouailles*, résultats qui n'ont guère été dépassés depuis.

Il est donc bien clair que la question de distribution ne se réduit pas tout entière aux termes dans lesquels elle a été posée ci-dessus; que la théorie est incomplète; qu'il se passe dans la machine à vapeur des phénomènes restés inaperçus. Disons toutefois que ces phénomènes avaient été entrevus ou soupçonnés par des esprits distingués, parmi lesquels il faut citer Combes et l'amiral Paris.

En poursuivant avec persévérance leurs études savantes et précises sur les grands appareils à vapeur, Hirn et les expérimentateurs de Mulhouse ont jeté sur ces questions obscures la plus vive lumière. Ils ont démontré que la quantité de vapeur dépensée ne peut se déduire uniquement du volume offert à l'admission; que le calcul ainsi établi ne tient pas compte d'un fait important: qu'au moment de l'introduction, il se dépose et se condense, sur les parois du cylindre et du piston, un poids de vapeur fort important, lequel n'est pas *sensible* à l'indicateur de Watt; qu'à l'échappement, une grande partie de cette vapeur condensée est envoyée au condenseur, sans avoir produit de travail utile; qu'en somme, les phénomènes sont beaucoup plus complexes qu'on ne l'avait supposé jusqu'alors, et que l'influence des espaces nuisibles et des étirages de vapeur est bien moindre, en définitive, que celle des autres causes de perte résultant de l'action refroidissante des parois; de plus, cette théorie nouvelle, basée sur des expériences exactes, rend clairement compte des avantages de l'enveloppe de vapeur et de la détente par échelons.

Outre leur utilité immédiate, ces travaux remarquables ont eu d'autres résultats, plus importants peut-être pour les pro-

grès de la science. Ils ont eu pour effet de vulgariser les méthodes d'expérimentation précise et d'analyse délicate, qui avaient conduit leurs auteurs à de si belles découvertes, et ont mis entre les mains du public de nouveaux et puissants moyens de recherche.

Est-ce à dire pour cela que tout soit aujourd'hui exactement connu dans le jeu de la machine à vapeur? Non, à beaucoup près; il reste bien des points obscurs, et le champ des investigations offre encore aux chercheurs de riches récoltes; mais ce qui est acquis est déjà fort considérable, et la voie est tracée pour de nouvelles conquêtes sur l'inconnu.

Il nous a paru utile, au moment où vient de se fermer notre Exposition, de poser quelques jalons pour préciser dans son état actuel l'importante théorie des moteurs à vapeur; c'est pourquoi nous n'avons pas cru devoir reculer devant les développements qu'exigeait cet exposé.

Un des faits les plus importants mis en relief par les travaux de Mulhouse, c'est la présence d'eau à l'état liquide sur les parois du cylindre. Au moment de l'admission, cette eau condense de la vapeur et s'échauffe; pendant l'échappement, cette eau chaude, sous l'influence de la diminution de pression, laisse se dégager la vapeur qu'elle a condensée, et qui n'a produit pendant la détente qu'un travail assez faible.

L'enveloppe de vapeur, en envoyant de la chaleur à travers les parois, tend à sécher le cylindre et à atténuer ces condensations si nuisibles; l'efficacité de cette enveloppe est surtout très grande dans les machines à condensation, parce qu'à chaque coup de piston, l'eau présente dans le cylindre prend successivement les températures, très éloignées, de la chaudière et celle du condenseur; que successivement cette eau condense et émet des quantités de vapeur fort importantes.

Ce qui précède donne une explication satisfaisante de l'économie réalisée par la détente par échelons. Le petit cylindre, celui dans lequel se fait directement l'admission, n'est jamais en communication avec le condenseur, car il échappe, soit dans le grand

Gr. VI. — Cl. 54.

cylindre ou cylindre détenteur, soit dans le réservoir intermédiaire entre les deux cylindres; par conséquent les condensations et vaporisations successives sont beaucoup moins importantes que dans le cylindre unique des machines ordinaires.

La détente par échelons, que l'on appelle aussi *détente par haute et basse pression, système Woolf* et *système Compound,* est représentée de la manière la plus remarquable à l'Exposition; les puissantes machines marines exposées sont toutes construites dans ce système, machines développant plusieurs milliers de chevaux, et la plupart admirablement construites et entendues : il nous suffira de citer la machine du *Mytho,* exposée par le Creusot, de 2,640 chevaux; celle du *Tonnant,* construite par Indret, de 1,700 chevaux; celle de 700 chevaux de Claparède, et les nombreux modèles et dessins exposés par la marine française de l'État, par les Forges et Chantiers, par Penn et les constructeurs anglais et de tous les pays.

Cette adoption de la détente par échelons, adoption générale, et l'on peut le dire aujourd'hui exclusive, par les marines commerciales et militaires de toutes les nations, est un fait hautement significatif. Ce mouvement a commencé à se dessiner à partir du jour où l'on a entrepris de longues traversées à grande vitesse, c'est-à-dire dès que le poids de l'approvisionnement de combustible a absorbé une partie considérable du chargement disponible; dès lors, l'extrême économie dans la dépense de ce combustible est devenue une condition de premier ordre; et, sous la pression de cette inéluctable nécessité, il a bien fallu accueillir et rechercher les appareils qui consomment pratiquement le moins de houille, pour développer une puissance donnée. C'est ainsi que toutes les marines ont été unanimement amenées à accepter, malgré sa plus grande complication, la détente par haute et basse pression. Actuellement les marchés pour machines marines imposent en général une consommation maxima, aux essais, de 1 kilogramme de bon charbon par heure et par cheval indiqué, résultat considéré, il y a peu d'années, comme tout à fait exceptionnel même pour les moteurs fixes, et qui aujourd'hui est atteint couramment, malgré les conditions éminemment défectueuses dans lesquelles fonctionnent les appareils marins : emplacements étroits,

et par conséquent combinaisons cinématiques compliquées et cylindres disproportionnés, ventilation pénible des chaudières, alimentation à l'eau salée, etc. Gr. VI. — Cl. 54.

Des machines marines, et d'après leurs effets bien constatés, ce système de détente n'a pas tardé à s'étendre aux machines terrestres. Son application aux machines fixes à balancier était, du reste, fort ancienne, et de ce côté la question est depuis longtemps résolue; aussi tous les moteurs de ce dernier type qui fonctionnaient à l'Exposition étaient du système Woolf. Pour les machines horizontales, le même accord n'existe pas; néanmoins, à côté des machines à un seul cylindre, on en voyait figurer un grand nombre de fort remarquables à deux cylindres; citons : celles de Galloway, de la Société de Pantin, de Sulzer, d'Escher Wyss, de Claparède, de Boudier, de la Société des Batignolles, de Durenne, etc.

Quant au mode d'application du principe de la détente par haute et basse pression, les constructeurs emploient l'un ou l'autre des deux systèmes suivants :

Dans le système le plus ancien, auquel on réserve souvent le nom de *système Woolf*, quoiqu'il semble avoir été inventé par Hornblower à la fin du siècle dernier, les deux pistons ont des mouvements concordants, et arrivent en même temps aux extrémités de leurs courses; la vapeur, après avoir agi sur le petit piston, se rend directement, et par les passages les plus courts possible, dans le grand cylindre. C'est ainsi que sont disposées les machines à balancier : les deux cylindres sont parallèles et juxtaposés, les deux pistons sont reliés directement au balancier; telles étaient à l'Exposition les machines de Boyer, de Windsor, de Boudier, de Powell, etc. Il convient de ranger dans la même catégorie certaines machines horizontales dans lesquelles deux cylindres parallèles attaquent, soit une même manivelle (Hermann-Lachapelle), soit deux manivelles opposées (Boudier, Galloway).

Ce qui caractérise les distributions de ce système, c'est que, si le petit cylindre n'est jamais en communication avec le conden-

seur, du moins la pression de la vapeur qu'il contient varie depuis celle de l'admission jusqu'à celle à fin de détente.

Le second système reçoit plus particulièrement le nom de *système Compound :* l'échappement du petit cylindre se fait, non plus dans le grand cylindre, mais dans un réservoir intermédiaire assez vaste pour que la pression y soit peu variable, et dans lequel vient puiser la distribution du grand cylindre. On voit que, dans ce système, la chute de pression dans chaque cylindre est plus faible que dans le dispositif que nous venons de décrire. Généralement les points morts des deux pistons ne sont pas concordants; si les cylindres sont parallèles, ils attaquent deux manivelles à angle droit ou à peu près (Sociétés de Pantin, des Batignolles, Claparède, Durenne, etc.), de manière à assurer une marche plus régulière et à réduire le poids du volant. Parfois cependant les marches des deux pistons sont concordantes; ainsi dans les machines de Sulzer, d'Escher Wyss, les deux cylindres sont dans le prolongement l'un de l'autre, et les deux pistons portés par la même tige; mais la présence du réservoir intermédiaire de grande capacité, avec distribution spéciale pour chaque cylindre, doit faire ranger ces machines dans le genre Compound.

Les grandes machines de la marine se composent souvent de trois cylindres, un admetteur et deux détenteurs, parallèles, avec réservoir intermédiaire, et commandant des manivelles à 120 degrés, ce qui assure une grande régularité d'allure.

Si l'on compare les deux genres de détente par échelons, il semble que le système Compound, avec réservoir intermédiaire, doive présenter quelques avantages économiques sur le système Woolf, avantages que décèlent d'ailleurs des expériences précises. D'autre part, le système Compound est plus délicat à bien établir; il est assez difficile d'en proportionner bien exactement les divers éléments, et surtout de bien les approprier aux variations de la résistance à vaincre. Les deux systèmes, lorsqu'ils sont bien entendus et construits, donnent des rendements fort élevés. Ici, comme dans toutes les machines à condensation, les enveloppes de vapeur, étendues non seulement aux cylindres, mais aussi au réservoir intermédiaire, procurent une notable économie. La

détente totale de la vapeur n'étant autre chose que le rapport du volume du grand cylindre au volume à l'admission dans le petit cylindre, pour obtenir une forte détente, il n'est plus nécessaire que l'admission soit très courte; par suite les appareils de distribution peuvent sans inconvénient être fort simples, ce qui rachète un peu la complication inhérente à l'emploi de deux cylindres. Néanmoins on voit appliqués aux moteurs que nous examinons la plupart des systèmes de distribution précédemment décrits.

Résumons en quelques mots l'état actuel des moteurs à vapeur, au point de vue de leur consommation.

Dans la pratique industrielle, il ne semble pas que les discussions ardentes qui se sont élevées sur les mérites des divers systèmes de distribution aient une importance bien justifiée : même à ne considérer que le point de vue exclusivement économique, la plupart des procédés de détente peuvent donner des résultats presque équivalents, et les écarts sont le plus souvent attribuables à des dispositions et à un entretien plus ou moins défectueux, plutôt qu'au système adopté pour distribuer la vapeur. En l'état, on peut dire qu'une bonne machine à condensation, bien construite et en très bon état, consommera environ 1 kilogramme de houille par heure et par cheval. Ce chiffre de consommation était tout à fait exceptionnel il y a quelques années; aujourd'hui il est couramment obtenu par un grand nombre de constructeurs; et c'est en cela que consiste le véritable progrès réalisé dans ces derniers temps.

Partons de ce chiffre de consommation, de 1 kilogramme de houille par heure et par cheval, comme caractéristique du moment actuel; voyons si l'on peut compter sur de nouveaux progrès, et cherchons dans quelle voie ils peuvent être poursuivis avec quelque chance de succès.

Nous ne pouvons prendre dans cette recherche de meilleur guide que la théorie mécanique de la chaleur; or, d'après les principes que cette science enseigne, 1 kilogramme de houille dé-

Gr. VI. — Cl. 54.

veloppe, en brûlant, une quantité d'énergie correspondant au travail de plus de 12 chevaux-vapeur pendant une heure [1].

Ainsi nos meilleurs moteurs à vapeur ne transforment en travail que 8,50 p. o/o au plus de la chaleur contenue dans le combustible qu'ils consomment. Le surplus, 90 p. o/o au moins, est dispersé inutilement.

Ce n'est pas à dire pour cela que la machine à vapeur, considérée en elle-même, soit un outil fort défectueux, bien au contraire : dans les conditions ordinaires de pression, une machine théoriquement parfaite dépenserait 5 kilogrammes de vapeur par heure et par cheval [2]; une consommation de houille de 1 kilogramme, correspondant à environ 8 kilogrammes de vapeur, représente donc une utilisation de 5/8, soit 62 p. o/o, ce qui, industriellement parlant, est déjà fort satisfaisant.

Les bonnes chaudières à vapeur présentent également un rendement de 55 à 60 p. o/o; ce sont encore là de bons résultats industriels.

Les appareils en eux-mêmes, générateur et machine, ne laissent

[1] 1 kilogramme de bonne houille, en brûlant complètement, dégage environ 8,000 calories, ce qui équivaut à $8,000 \times 425 = 3,400,000$ kilogrammètres, chaque calorie représentant 425 kilogrammètres. D'autre part, le travail d'un cheval-vapeur en une heure est de $75 \times 3,600 = 270,000$ kilogrammètres. Chaque kilogramme de houille brûlée développe donc une quantité de chaleur équivalant au travail pendant une heure de :

$$\frac{3,400,000}{270,000} = 12\frac{1}{2} \text{ chevaux.}$$

[2] Soit une machine alimentée par une chaudière à 5 atmosphères (ce qui correspond à une température de vapeur saturée de 152 degrés) et condensant à 40 degrés.

La machine transforme en travail une fraction de la chaleur de vaporisation de la vapeur qu'elle reçoit, chaleur qui est de 500 calories par kilogramme. Et la théorie démontre que cette fraction ne saurait, dans aucun cas, atteindre le maximum théorique :

$$\frac{152 - 40}{273 + 152} = 0,26,$$

lequel maximum correspond, à très peu près, à 5 kilogrammes de vapeur par heure et par cheval. Ce maximum est, du reste, d'autant plus élevé que l'écart des températures à la chaudière et au condenseur est lui-même plus grand.

donc que peu à désirer; et si, de ce chef, il reste quelque chose à gagner, du moins la marge n'est-elle pas très étendue. Ce sont les conditions mêmes du travail qui sont défectueuses. Pour utiliser la chaleur développée dans le foyer à une température de 1,400 ou 1,500 degrés, on commence par l'incorporer à de la vapeur à 150 ou 160 degrés, sans que cette chute énorme de température soit utilisée pour produire du travail; c'est là la cause la plus importante du faible effet utile des moteurs à vapeur. Et la preuve qu'il en est ainsi, c'est que d'autres moteurs thermiques, beaucoup plus imparfaits que les machines à vapeur, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique, utilisent beaucoup mieux la chaleur développée par le combustible : ainsi certaines machines à gaz d'éclairage, de 1 ou de 2 chevaux, ne consomment, par heure et par cheval, que 1 mètre cube de gaz, équivalant à peu près à 700 grammes de houille comme puissance calorifique; mais aussi, dans ces moteurs, le fluide qui presse sur le piston agit à la température même de la combustion du gaz.

Il semble donc, d'après ce qui précède, que les recherches pour améliorer l'utilisation de la chaleur doivent tendre à faire agir les fluides à des températures élevées. Elles devront aussi avoir pour but de simplifier la chaîne très complexe que parcourt la chaleur développée dans le foyer, pour reparaître sous forme de travail sur l'arbre de couche, après avoir traversé successivement la tôle de la chaudière, l'eau, les conduites de vapeur, le cylindre et les organes du mouvement; car, à chacun des chaînons de cette longue transmission, il y a des déperditions inévitables, qui s'accumulent et finissent par former un total élevé.

Ainsi donc, simplifier l'action de la chaleur, augmenter la température dans le cylindre, tels sont les termes dans lesquels il faudrait peut-être poser le problème de la meilleure utilisation dynamique du combustible.

Mais dans l'état actuel des choses, étant données les pressions en usage et accepté le système général des moteurs à vapeur, le résultat industriel obtenu, nous le répétons, peut être considéré comme fort satisfaisant.

Terminons par une remarque qui a sa valeur au point de vue

Gr. VI. — Cl. 54.

purement pratique. Ce n'est que dans certains cas assez rares que l'extrême économie dans la dépense de vapeur ou de combustible est, pour une machine, une question de première importance : il en est ainsi quand il s'agit de moteurs d'une très grande puissance, quand le charbon est cher, pour les navires à longs parcours et à grande vitesse, dans lesquels l'approvisionnement de houille remplace une partie du chargement utile. Le plus ordinairement, au contraire, le moteur doit présenter d'autres qualités, tout aussi nécessaires, et souvent beaucoup plus indispensables, telles que la sûreté de marche, le bas prix d'achat, la conduite facile, l'entretien peu coûteux, la grande durée des organes, l'adaptation parfaite au travail à exécuter, etc.

Le jury a donc eu à examiner à ces divers points de vue chacune des machines qui ont été soumises à son examen, et c'est de la comparaison raisonnée et discutée résultant de cette étude qu'est sortie la classification à laquelle il s'est définitivement arrêté.

Les considérations qui précèdent nous permettront d'abréger la description des machines de l'Exposition. Nous répartirons ces machines entre les catégories suivantes :

Machines fixes, en rattachant à cette classe les appareils de distribution et de condensation ;

Machines locomobiles et mi-fixes ;

Pompes à vapeur.

Certaines machines à vapeur sont affectées particulièrement à des industries déterminées, et ne peuvent être détachées de l'outil-récepteur qu'elles actionnent : citons les machines de navigation, les locomotives, les machines d'extraction, d'épuisement ou de ventilation employées dans les mines, celles actionnant les laminoirs, certaines machines agricoles adhérentes à leurs outils, les marteaux à vapeur, etc. Les machines présentant ces caractères ne peuvent être considérées comme ressortissant à la classe de la mécanique générale, mais bien comme dépendant de l'outillage de l'industrie spéciale pour laquelle elles ont été construites. Elles n'ont donc pas été examinées par le jury de la classe 54, et il n'en sera pas parlé dans ce rapport.

SECTION II.

MACHINES FIXES.

Sommaire. — Objet et division.

Machines à distribution par tiroir et excentrique circulaire. — Type Farcot : machines de Farcot, de Fives-Lille, de Buffaud, de Boyer, de Bréval. — Type Meyer : machines de Beer, de Le Brun. — Système Ryder : machines de Buffaud, de Rikkers. — Système et machine de Duvergier. — Machine de Storck.

Machines à détente par déclenchement. — Système Corliss : machines de Le Gavrian, de Corbran et Lemarchand, de Lecouteux et Garnier. — Dérivés du système Corliss : machines de Cail, de Farcot. — Système et machine Wheelock. — Système Sulzer : machines d'Averly, d'Anzin ; dérivés du système Sulzer : machines de Sulzer, d'Escher Wyss, de Satre, de Lecointe et Villette ; système Zimmermann ; machines de l'Horme, de Walschaerts.

Machines à distribution par excentriques à ondes. — Machines de Claparède, d'Artige, de Cail et Halot, de Cockerill.

Machines à distributions diverses. — Machines de Winterthur (système Brown), de Buda-Pesth (système de Zimmermann et Wadmann), de Collmann, de Socin et Wick, de Skoda.

Machines à plusieurs cylindres.

Machines Woolf. — Type à balancier : machines de Windsor, de Boyer, de Powell, de Boudier. — Détente Correy. — Type horizontal : machines de Hermann-Lachapelle, de Galloway, de Boudier, d'Alexander.

Machines Compound. — Types à points morts discordants : machines de Pantin, du Creusot, de Claparède, des Batignolles, de Bolinder, de Gothembourg. — Types à points morts concordants : machines d'Escher Wyss, de Sulzer (détente Züblin).

Il n'entre pas dans le cadre du présent rapport de décrire en détail chacune des nombreuses machines à vapeur de l'Exposition ; mais il convient, comme développement aux considérations qui précèdent, de passer rapidement en revue quelques-uns des moteurs qui, soit par leur conception, soit par leur exécution, soit par quelque particularité digne d'intérêt, ont plus spécialement attiré l'attention.

Dans cet examen sommaire nous chercherons, autant que possible, à grouper ensemble les machines qui ont entre elles le plus de rapport ; une classification rigoureuse serait d'ailleurs fort difficile, à cause de la multiplicité des aspects sous lesquels peut être

Gr. VI. — Cl. 54.

envisagée chacune des constructions à étudier; nous nous laisserons principalement guider par le mode de distribution, et nous suivrons à peu près l'ordre ci-dessous :

Distributions par tiroirs et excentrique circulaire;
Distributions genre Corliss;
Distributions genre Sulzer;
Distributions par excentriques à ondes;
Distributions diverses;
Machines Woolf et Compound.

La distribution par tiroirs et excentrique circulaire est encore aujourd'hui et de beaucoup la plus usitée; lorsqu'elle est bien établie, elle donne d'excellents résultats.

Le simple tiroir en coquille, avec avances et recouvrements, ne permet pas une détente prolongée. Aussi n'est-il guère en usage que pour les machines sans condensation, ainsi que pour les locomobiles et les locomotives. Les grandes machines fixes sont presque toutes à condensation, et leur distribution est plus compliquée.

Les distributions par tiroirs superposés sont représentées principalement par le type Meyer et le type Farcot.

La distribution Farcot dérive comme principe de systèmes plus anciens, mais elle a été amenée par la maison Farcot à un état de perfection remarquable; depuis nombre d'années, elle est adaptée à beaucoup de machines de manufactures, et a rendu les services les plus appréciés.

Ce système a été l'un des premiers qui aient rendu pratique la détente variable par le régulateur.

La maison Farcot et ses fils, de Paris, a tenu à honneur de montrer aux visiteurs de l'Exposition une machine construite suivant ce modèle, qui a contribué à asseoir sa vieille et solide réputation. Cette machine représentait dans toute sa pureté, aussi bien par l'ensemble que par les formes et les détails, le type si universellement connu : châssis carré à double T, bielle à petite fourche, traverse ronde, guides quadruples, pompe à air horizontale, condensation par injection, enveloppe complète de vapeur au cylindre,

régulateur à bras croisés actionnant la came de détente. Voici les dimensions principales de cette machine : diamètre du piston, 650 millimètres; course, $1^{m},30$; nombre de tours par minute, 36.

Cette belle construction, si sage et si bien entendue, d'une exécution admirable, qui, dans toutes ses parties, résume de longues et savantes études, a excité au plus haut degré l'attention du jury.

L'Exposition offre encore plusieurs autres machines du type Farcot.

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

La distribution Meyer était aussi fort largement représentée à l'Exposition.

La maison Beer, de Belgique, exposait une grande et belle machine d'extraction, avec renversement de marche et distribution Meyer. L'usine élévatoire du quai de Billy, installée par la maison Le Brun, de Creil, pour l'alimentation de la cascade du Trocadéro, comportait une paire de machines horizontales, à détente Meyer variable à la main, actionnant les pompes par l'intermédiaire d'un balancier vertical.

La distribution Meyer possède cet avantage considérable, de permettre l'admission variable dans les limites les plus étendues, sans que pour cela les avances soient réduites ni modifiées; mais elle présente un grave inconvénient: elle ne se prête pas à la commande de la détente par le régulateur.

Plusieurs ingénieurs ont cherché à doter la détente Meyer de cette propriété.

Supposons que l'on donne à la glissière de détente la forme, non plus d'un rectangle, mais d'un trapèze, de telle sorte que les lèvres soient obliques l'une par rapport à l'autre; donnons aux orifices des lumières, sur le dos du tiroir, une inclinaison qui les rende parallèles aux lèvres de la glissière; il est clair qu'en déplaçant latéralement la glissière, nous ferons varier le *découvrement* des lèvres,

Gr. VI. — Cl. 54.

c'est-à-dire la détente. Ce déplacement transversal de la glissière remplace le rapprochement des deux blocs de détente, obtenu, dans la distribution Meyer ordinaire, au moyen d'une vis à deux pas contrariés.

Pour rendre ce déplacement prompt et facile, un ingénieur américain, M. Ryder, a imaginé d'enrouler la glissière trapézoïdale sur un cylindre, ayant pour axe la tige de commande de cette glissière; le dos du tiroir est creusé également suivant un cylindre concentrique; dès lors, au lieu de mouvoir transversalement la glissière plane, il suffit de faire tourner sur son axe la glissière cylindrique, et cette rotation peut être commandée par le modérateur. On rencontrait quelques machines munies de ce système de distribution.

La maison Buffaud frères, de Lyon, en exposait une d'une exécution fort remarquable. La machine du même système exposée par la maison Rikkers, de Paris, attirait en outre l'attention par ses formes extrêmement ramassées dans le sens de la longueur : la transmission de mouvement entre le piston et la manivelle se faisait, non point par une bielle, mais par une glissière transversale, disposition qui se rencontre fréquemment, mais peut-être avec plus d'à-propos, dans les *petits chevaux* alimentaires.

On ne peut guère compter sur le régulateur, dont la puissance est toujours très limitée, pour surmonter les frottements de la glissière Ryder. Mais, en conservant une glissière avec découvrement fixe, il est possible de faire varier la détente en agissant sur les autres éléments variables du système Meyer, savoir: l'avance angulaire et le rayon de l'excentrique de détente. Telle est la solution adoptée par un de nos bons constructeurs, M. Duvergier, de Lyon. L'excentrique de détente commande directement, non pas la glissière, mais une coulisse; un manneton qui se déplace le long de cette coulisse agit à son tour sur la glissière de détente, dont l'amplitude d'oscillation varie suivant la position du manneton dans la coulisse. Quant au déplacement du manneton, il est commandé sans résistance notable par le régulateur.

La machine de Duvergier était fort remarquable par la régula-

rité d'allure obtenue au moyen de cette distribution; la transmission qu'elle commandait desservait, entre autres appareils, plusieurs malaxeurs et presses à briques, offrant une résistance considérable ; en embrayant ces appareils, on doublait le travail, et cependant on a pu constater que la vitesse n'était pas sensiblement modifiée par cet excédent de charge.

Cette machine mérite l'attention à plus d'un titre : la forme du bâti, très rationnelle, a quelque rapport avec la disposition dite *américaine,* quoiqu'elle ait été adoptée depuis fort longtemps par la maison Duvergier ; le cylindre, avec enveloppe complète de vapeur, est en porte à faux et entièrement dégagé, ce qui supprime la fatigue du métal, résultant des dilatations inégales du cylindre et du bâti, et que l'on constate fréquemment à la jonction de ces deux organes ; le régulateur, du système Foucault, est fort bien compris ; il est muni d'un double rappel agissant, d'une part, sur la charge permanente et, d'autre part, sur la charge proportionnelle à l'écart. L'ensemble est d'une construction un peu lourde, mais bien entendue et très soignée.

D'après les documents soumis au jury, des machines de ce système ont donné aux essais des résultats très satisfaisants comme consommation : moins d'un kilogramme de charbon par heure et par force de cheval mesurée au frein.

La maison Storck frères et Cie, à Hengelo (Pays-Bas), exposait une machine dont la distribution était obtenue par des procédés analogues, et d'une très bonne exécution.

On a vu plus haut par quelles considérations les ingénieurs américains ont été amenés à remplacer les distributions ordinaires par le système du déclenchement. Par une longue série d'essais et de tâtonnements, l'ingénieur Corliss en est arrivé au type qui est représenté dans les dessins ci-joints (fig. 20), tel qu'il est construit, à quelques détails près, par un grand nombre d'excellentes maisons.

Le cylindre porte quatre distributeurs circulaires, deux pour l'admission A et B, deux pour l'échappement C et D. Ces distributeurs tournent sur leurs axes, appuyés sur leurs tables par la

Gr. VI.

—

Cl. 54.

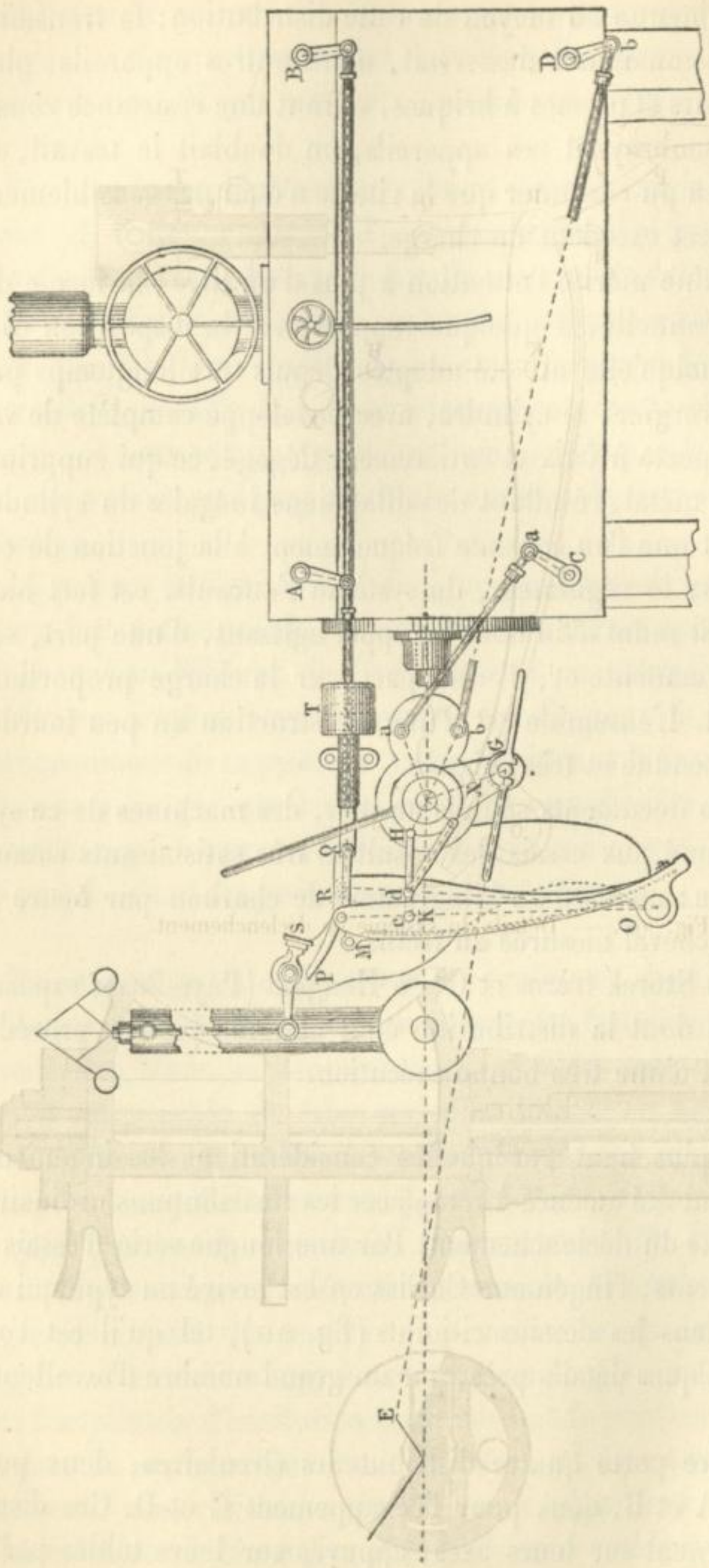


Fig. 20¹. — Machine Corliss.

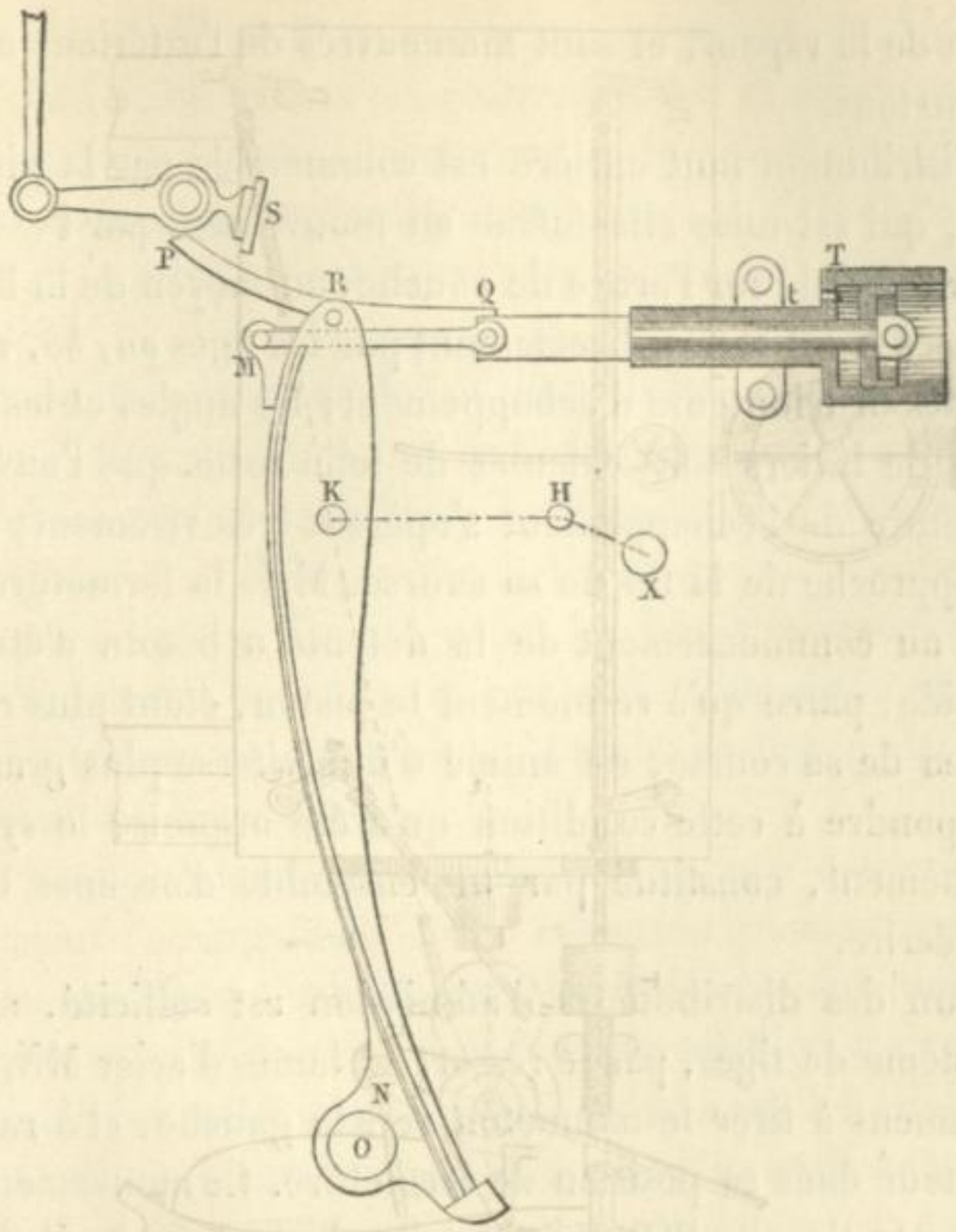
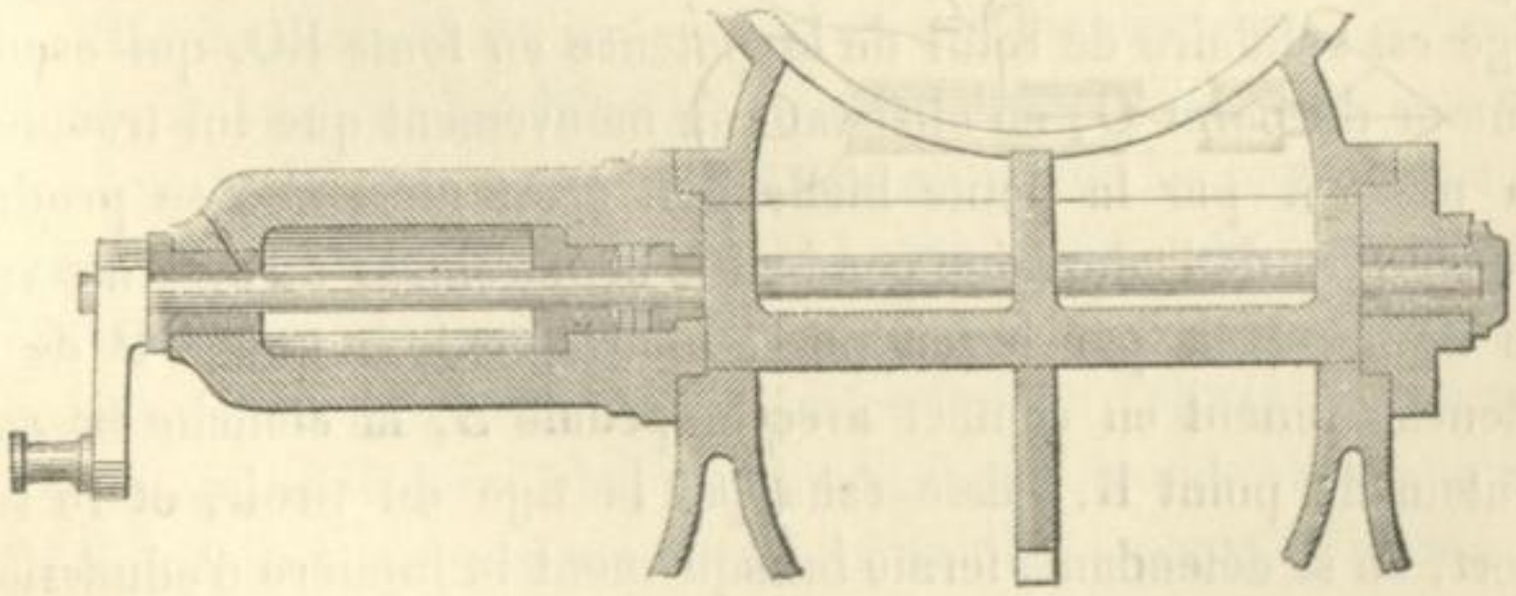


Fig. 20². — Détails du système de déclenchement.



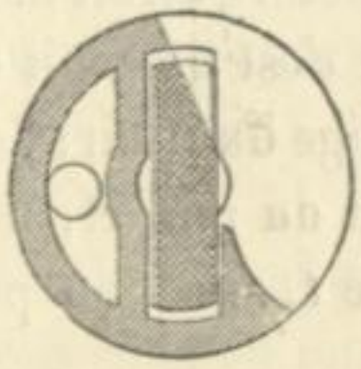


Fig. 20³. — Détails d'un distributeur d'échappement.

Gr. VI. — Cl. 54.

pression de la vapeur, et sont manœuvrés de l'extérieur au moyen de mannetons.

La distribution tout entière est commandée par la pièce oscillante X, qui est mise elle-même en mouvement par l'excentrique circulaire E, calé sur l'arbre de couche, au moyen de la bielle EG. Cette pièce X est reliée directement par les tiges *aa, bb,* aux mannetons des distributeurs d'échappement; les angles et les rapports des bras de leviers sont calculés de telle sorte que l'ouverture et la fermeture de l'échappement s'opèrent très vivement, quand le piston approche de la fin de sa course. Mais la fermeture de l'admission au commencement de la détente a besoin d'être encore plus rapide, parce qu'à ce moment le piston, étant plus rapproché du milieu de sa course, est animé d'une vitesse plus grande. C'est pour répondre à cette condition qu'a été organisé le système de déclenchement, constitué par un ensemble d'organes que nous allons décrire.

Chacun des distributeurs d'admission est sollicité, au moyen d'un système de tiges, par le ressort en lames d'acier MN, qui tend constamment à tirer le manneton vers la gauche, et à ramener le distributeur dans sa position de fermeture. Ce mouvement est empêché par la clenche PQ, qui vient mordre sur un arrêt fixé sur la tige du distributeur; dans cette situation, le mouvement de la tige est solidaire de celui de la potence en fonte RO, qui oscille autour du point O, en obéissant au mouvement que lui transmet la pièce X par la petite bielle KH. C'est ainsi que se produit l'ouverture de l'admission pendant le déplacement du système vers la droite. Mais par le fait de ce mouvement, la queue P de la clenche venant en contact avec la pédale S, la clenche bascule autour du point R, laisse échapper la tige du tiroir, et le ressort, en se détendant, ferme brusquement la lumière d'admission.

Ce mouvement de fermeture serait même trop brutal, il est modéré par le *frein à air* T; c'est un petit cylindre, dans lequel joue un piston solidaire de la tige du tiroir; l'air ainsi confiné forme matelas et, sous la pression du ressort, il s'échappe plus ou moins lentement par l'ouverture *t*, que l'on peut régler au moyen d'un robinet à vis.

La variation de la détente s'obtient au moyen du déplacement de la pédale S; et celle-ci est gouvernée par le régulateur à force centrifuge, qui n'a ainsi à surmonter que des résistances très faibles, attendu que la pédale est entièrement libre, et n'est en contact que pendant un temps très court avec les pièces de la distribution.

La description qui précède fait ressortir les propriétés essentielles du système : fermeture brusque de l'admission, suppression presque complète des espaces nuisibles, commande de la détente variable par le régulateur. L'indépendance des quatre distributeurs facilite beaucoup le réglage. La longueur des lumières permet de leur donner de grandes sections, et par suite d'imprimer au piston de grandes vitesses; on peut ainsi obtenir beaucoup de puissance avec de faibles dimensions.

Il est vrai que tous ces organes sont un peu délicats, et qu'ils ne sauraient s'accommoder d'une exécution grossière ou négligée. Aussi les machines Corliss sont-elles généralement remarquables par le soin apporté dans le tracé des diverses pièces, dans le choix et le travail des matériaux, qualités sans lesquelles elles fonctionneraient mal ou n'auraient pas de durée. Non seulement leur construction doit être supérieure, mais encore l'entretien doit être fait par des mains attentives et intelligentes.

Plusieurs constructeurs avaient exposé des machines Corliss, ne différant que par des détails insignifiants des dispositions que nous venons de décrire; nous citerons entre autres les maisons Le Gavrian et fils, à Lille, Corbran et Lemarchand, du Petit-Quevilly (Seine-Inférieure), dont les expositions se faisaient remarquer par la beauté de l'exécution et la perfection de l'ajustage; la maison Lecouteux et Garnier, de Paris, avait installé sur la rive gauche de la Seine une magnifique usine hydraulique pour l'élévation des eaux de la cascade du Trocadéro; cette usine se composait d'un groupe de deux machines Corliss conjuguées, agissant sur des pompes foulantes.

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

Gr. VI. — Cl. 54.

La maison Cail et Cie, de Paris, exposait une fort belle machine d'une exécution remarquable, du système Corliss, avec distributeurs circulaires, commandés par un déclenchement d'une disposition fort ingénieuse.

Outre sa magnifique machine à distribution par tiroir, dont nous avons eu occasion de parler, la maison Farcot avait exposé une paire de puissantes machines horizontales, commandant une grande roue dentée, et destinées à actionner des pompes centrifuges. Ces machines sont du type Corliss, avec quelques modifications importantes: au lieu de ressorts, les distributeurs circulaires sont commandés par de petits pistons, chargés par la vapeur de la chaudière et formant en même temps freins à air; la distribution a lieu par les fonds; les distributeurs sont tracés de manière à remplir à peu près complètement les lumières, et à réduire presque à rien les espaces nuisibles. Le mode de déclenchement est assez simple; il échappe à un des inconvénients du système Corliss ordinaire: dans ce système, la commande aux distributeurs d'admission et d'échappement est faite par un seul excentrique calé à peu près à angle droit sur la manivelle; il en résulte que le déclenchement ne peut se produire que pendant la course directe de la clenche, alors que la queue de cette clenche s'approche de la pédale, c'est-à-dire pendant moins de la moitié de la course du piston; si donc, par une cause quelconque, l'allure de la machine vient à se ralentir, et que par suite la pédale soit un peu haute, le déclenchement ne se produit plus, et l'admission a lieu pendant presque toute la course; ainsi donc pas d'intermédiaire, ou bien admission très réduite, ou bien marche à pleine pression. Dans la machine Farcot dont nous parlons, cet inconvénient est évité au moyen d'un artifice fort ingénieux mais un peu compliqué, et le déclenchement peut se produire à n'importe quel moment de la course. La circulation de la vapeur dans l'enveloppe, l'installation du régulateur, tous les détails aussi bien que l'ensemble, sont étudiés avec un soin minutieux et établis de la manière la plus judicieuse. L'exécution est de premier ordre. On a admiré surtout la belle venue des pièces de fonderie, la beauté des formes et la précision de l'ajustage.

La maison J. Wheelock, de Worcester (Massachusetts), avait fourni la machine motrice pour la section américaine, et cette machine distribuait aussi le mouvement, dans la grande galerie, aux sections de la Norwège et de la Suède. Cette machine est fixe et horizontale; contrairement aux autres machines fixes exposées, elle est sans condensation. La course est de $1^{m},22$, le diamètre du piston, de 43 centimètres; le bâti est de la forme dite *américaine*.

La distribution est remarquable: elle est obtenue, comme dans le type Corliss, par des distributeurs circulaires à mouvements alternatifs, avec déclenchement, mais le mode d'emploi de ces distributeurs est tout à fait original (fig. 21).

Chaque extrémité du cylindre ne comporte qu'une seule lumière, qui, par le mouvement alternatif du distributeur, est mise en communication au moment voulu, tantôt avec l'admission, tantôt avec l'échappement, ce qui constitue une distribution fixe, tout à fait analogue à la distribution ordinaire par tiroir en coquille. Ce distributeur est logé dans une boîte, communiquant avec l'arrivée de vapeur par une lumière, devant laquelle se meut un tiroir circulaire à déclenchement, actionné par le levier qui agit sur le distributeur principal.

Les figures ci-jointes représentent cette distribution.

Le distributeur B′ est disposé pour l'échappement, et les distributeurs C et B pour l'admission; on voit que le distributeur C est taillé de manière à offrir un double passage à la vapeur; au moment du déclenchement, ces deux passages sont fermés simultanément par un faible mouvement de rotation de ce tiroir (voir en C′). On remarquera que, tant que l'obturateur d'admission CC′ est fermé, le distributeur B est soustrait à la pression de la vapeur, ce qui atténue beaucoup les frottements et l'usure; en outre, l'arrivée de vapeur est séparée de l'échappement par deux obturateurs successifs C′ et B′, disposition propre à éviter les fuites directes de vapeur de la chaudière au condenseur.

Les détails de la commande de la distribution sont figurés à plus grande échelle. L'excentrique circulaire, calé sur l'arbre de couche, agit sur la distribution fixe par l'intermédiaire des tiges et

leviers DEFGH; la manette GK reçoit donc un mouvement d'oscillation, qu'elle transmet directement au distributeur B (ou B'); elle commande l'obturateur C (ou C') par enclenchement; la clenche ML, articulée en L sur GK, mord en N sur la touche O, contre laquelle elle est pressée par le petit ressort QS; cette clenche est solidaire de la courbe QR, appuyant sur la dent T, qui détermine, au moment voulu, le soulèvement de cette clenche; la position de cette dent est elle-même commandée par le régulateur au moyen de la transmission UVX.

On voit que le système de détente n'est autre chose, au fond, que celui connu sous le nom de *détente par obturation de l'arrivée de vapeur;* mais cette application d'un principe bien connu comporte des améliorations importantes: en dédoublant la distribution, on est arrivé à réduire beaucoup les espaces nuisibles; en agissant sur l'obturateur par déclenchement, on a supprimé le laminage de vapeur.

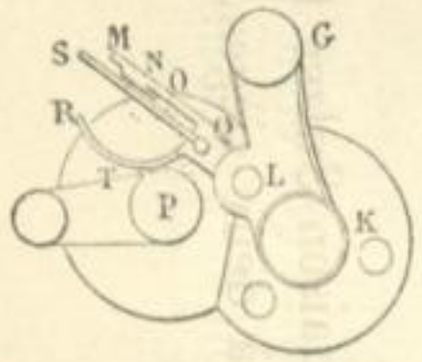
Tout cet ensemble, assez complexe comme fonctions, est fort bien agencé et disposé, ainsi qu'on peut le voir sur le dessin; les pièces sont bien groupées et facilement accessibles; toute la construction se recommande par une étude poussée fort loin, et par une exécution supérieure.

Le piston, dont nous donnons un détail, était, dans la machine exposée, remarquablement étanche; le mécanicien chargé de la conduite de cette machine a fait, sous les yeux du jury, une expérience intéressante; après avoir mis au repos la distribution de la face arrière du piston (il suffisait pour cela de débrayer un des leviers de commande), il a déboulonné et retiré le fond du cylindre; de sorte que, la machine marchant à simple effet, on pouvait voir le cylindre et le piston et constater combien les fuites étaient faibles.

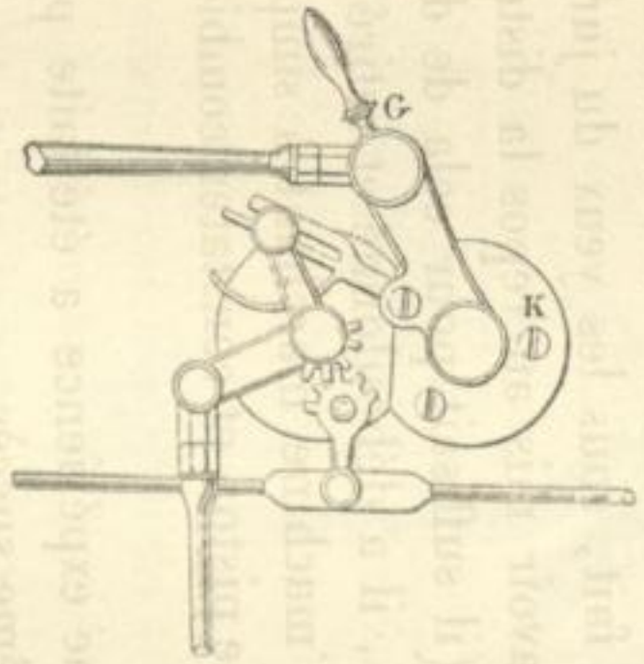
Disons tout de suite que la même expérience a été faite par quelques autres exposants avec le même succès.

Le système de distribution créé par la maison Sulzer frères, de Winterthur, comporte quatre soupapes à deux sièges, deux pour l'admission, deux pour l'échappement.

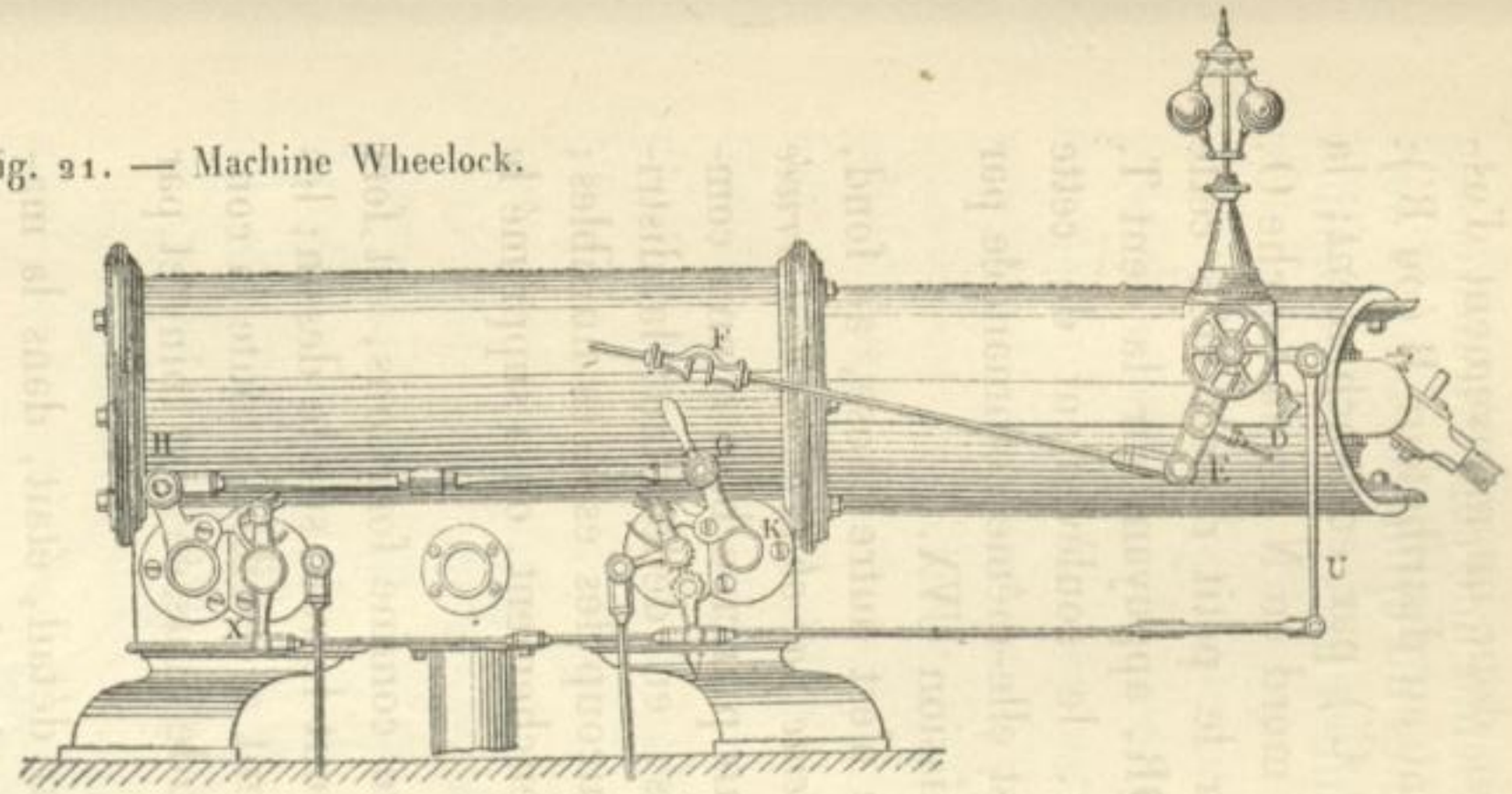
Fig. 21. — Machine Wheelock.



Coupe du déclenchement.

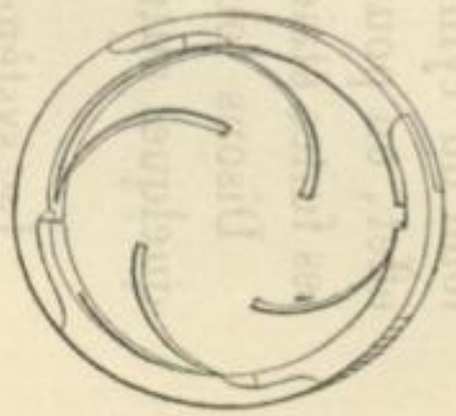


Élévation.

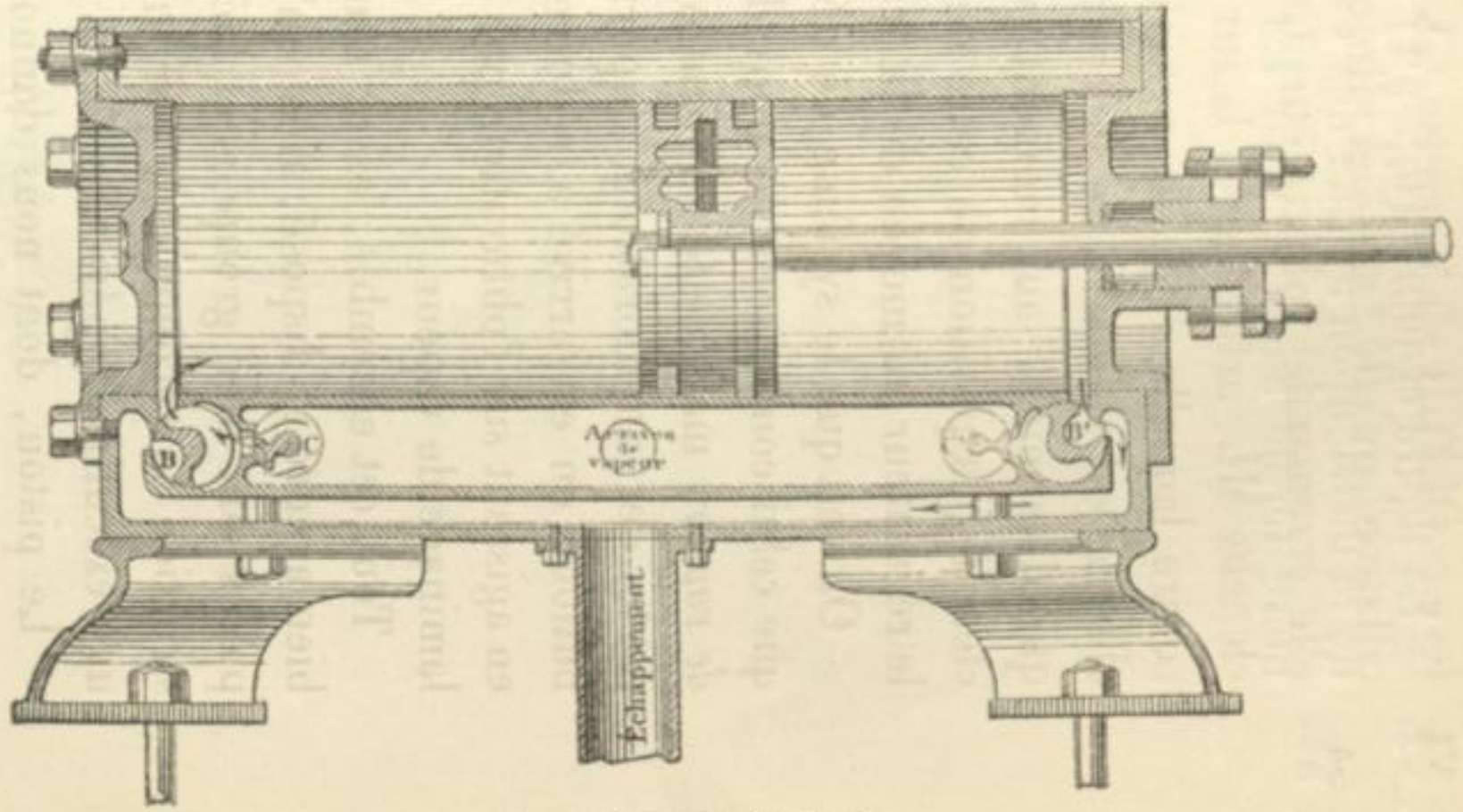


Élévation latérale.

Vue des pièces d'un distributeur.



Détails des segments du piston.



Coupe dans l'axe du cylindre.

Gr. VI. — Cl. 54.

La figure ci-jointe (fig. 22) représente une coupe transversale de la distribution à l'une des extrémités du cylindre, sous la dernière forme adoptée pour les machines fixes; cette distribution

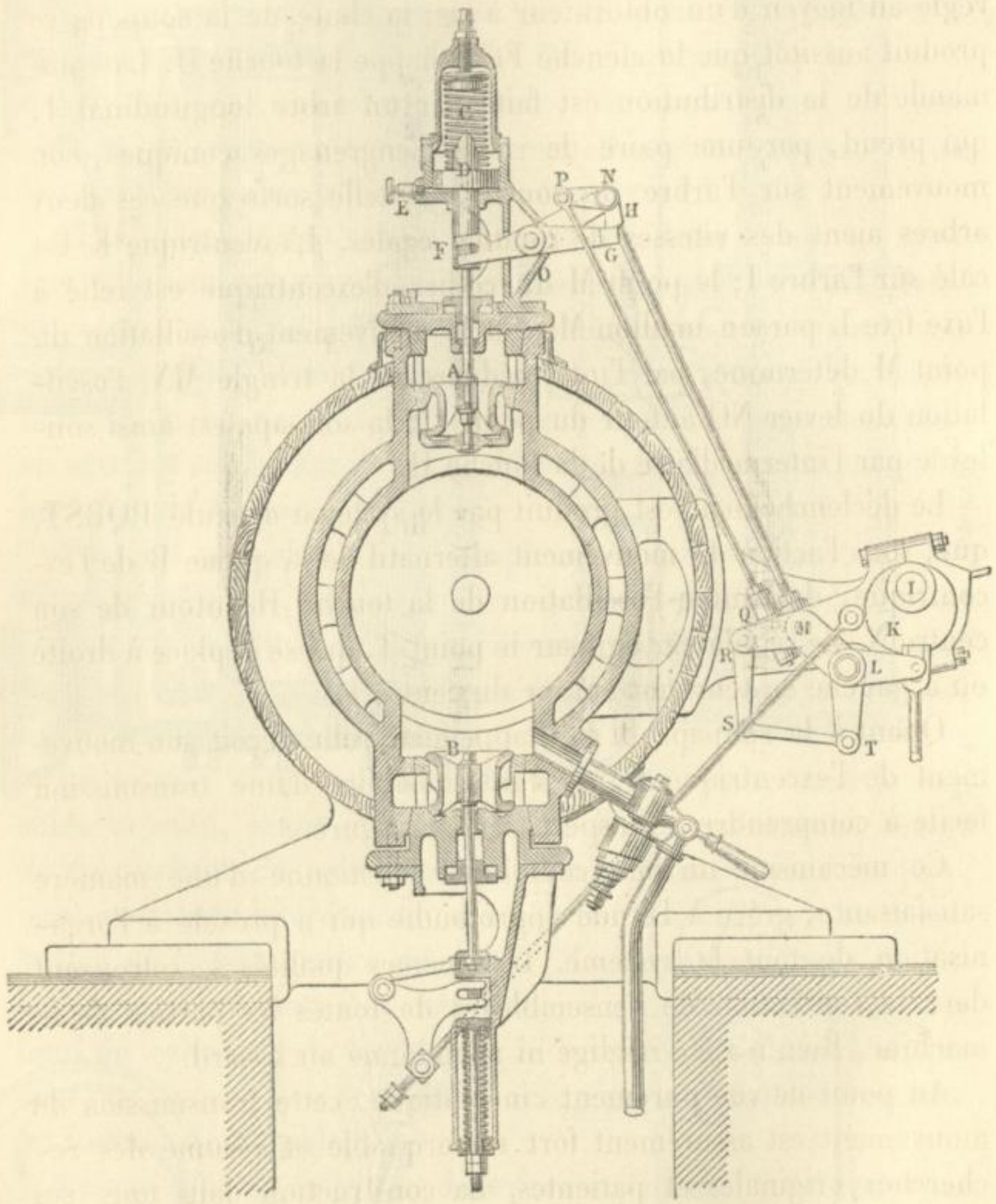


Fig. 22. — Machine Sulzer frères. — Coupe transversale de la distribution.

ne diffère que par des détails accessoires de celle qui était adaptée aux machines qui figuraient, soit à l'Exposition de Paris en 1867, soit à celle de Vienne en 1873.

A est la soupape d'admission : elle est chargée par un ressort C, qui tend constamment à l'appliquer sur son siège; ce mouvement de descente est modéré par le piston D, formant frein à air; l'air confiné s'échappe sous cette pression par l'orifice E, réglé au moyen d'un obturateur à vis; la chute de la soupape se produit aussitôt que la clenche FG échappe la touche H. La commande de la distribution est faite par un arbre longitudinal I, qui prend, par une paire de roues d'engrenages coniques, son mouvement sur l'arbre de couche, de telle sorte que ces deux arbres aient des vitesses de rotation égales. L'excentrique K est calé sur l'arbre I; le point M du collier d'excentrique est relié à l'axe fixe L par un maillon ML, et le mouvement d'oscillation du point M détermine, par l'intermédiaire de la tringle MN, l'oscillation du levier NO autour du point O; la soupape est ainsi soulevée par l'intermédiaire de la touche H.

Le déclenchement est produit par le système articulé PQRST, qui, sous l'action du mouvement alternatif de la queue R de l'excentrique, détermine l'oscillation de la touche H autour de son centre N. Le régulateur agit sur le point T, qui se déplace à droite ou à gauche en tournant autour du centre L.

Quant à la soupape B d'échappement, elle reçoit son mouvement de l'excentrique K par l'intermédiaire d'une transmission facile à comprendre à l'inspection de la figure.

Ce mécanisme un peu compliqué fonctionne d'une manière satisfaisante, grâce à l'étude approfondie qui a présidé à l'organisation de tout le système. Les mêmes qualités se retrouvent dans la conception de l'ensemble et de toutes les parties de la machine. Rien n'a été négligé ni abandonné au hasard.

Au point de vue purement cinématique, cette transmission de mouvement est assurément fort remarquable et résume des recherches originales et patientes. La construction dans tous ses détails est sagement combinée et exécutée, aussi bien comme formes et comme proportions des pièces que comme choix et travail des matériaux. Des soins tout particuliers ont été apportés à la confection des soupapes à double siège, organes délicats, difficiles à exécuter d'une manière assez parfaite pour qu'ils ne

Gr. VI. — Cl. 54.

donnent pas lieu, au bout de peu de temps, à des fuites désastreuses de vapeur; MM. Sulzer font ces soupapes en fonte, et, grâce à des expériences de longue durée et à des essais multipliés, grâce à un examen fort intelligent des conditions dans lesquelles fonctionnent ces organes, en étudiant de très près les effets de l'usure et de la dilatation, ils sont arrivés à établir des soupapes qui restent étanches et en bon état pendant plusieurs années.

MM. Sulzer frères ont abordé également des questions mécaniques d'un tout autre ordre et d'une importance considérable : entrant dans la voie ouverte par les expérimentateurs de Mulhouse, ils ont appliqué sur une large échelle à leurs machines les méthodes d'investigation précises, inaugurées et perfectionnées par Hirn et ses collaborateurs, et recherché les causes de perte d'effet utile, les moyens pratiques d'en réduire l'action, l'influence des avances et de la compression, etc. C'est ainsi qu'ils ont été amenés à superposer à leur système de distribution la détente par échelons; nous les retrouverons tout à l'heure à l'occasion des machines Compound.

Cet esprit à la fois pratique et théorique, cet ensemble de recherches laborieuses et de longue haleine, si utiles, si nécessaires même au progrès industriel, et dont, malheureusement, un trop petit nombre de maisons donnent l'exemple, ont paru au moins aussi méritoires que les machines, fort belles du reste et remarquables à tous égards, exposées par MM. Sulzer frères, et le jury de la classe 54 a estimé que cette maison était digne de la plus haute des récompenses dont il disposait.

Plusieurs machines du système Sulzer, fort bien construites en général, étaient exposées par diverses maisons; nous citerons parmi les plus remarquables : celles de MM. Escher Wyss et Cie, de Zurich, de MM. Satre et Averly, de Lyon, de la Compagnie d'Anzin, etc. D'autres machines de l'Exposition comportaient une distribution fort analogue comme principe à la précédente, c'est-à-dire composée de quatre soupapes à double siège, avec détente par déclenchement, mais différant plus ou moins par les détails.

Ainsi la machine fort intéressante exposée par la maison Le-

cointe et Villette, de Saint-Quentin, était munie, comme la machine Sulzer, d'une distribution par soupapes équilibrées; mais la commande de ces soupapes était obtenue au moyen d'un excentrique circulaire, agissant par l'intermédiaire d'un système de déclenchement fort simple, imaginé par M. Zimmermann, de Marchienne.

L'exposition de la Compagnie des fonderies et forges de l'Horme, à Saint-Julien-en-Jarret (Loire), comprenait une paire de belles machines conjuguées, avec distribution se rapprochant beaucoup du genre Sulzer; le système de déclenchement était fort simple; ces machines commandaient des pompes d'épuisement et étaient remarquablement exécutées.

M. E. Walschaerts, à Saint-Gilles-Bruxelles (Belgique), exposait dans la section belge une machine à vapeur dont la distribution était combinée comme il suit : à l'admission, deux soupapes à double siège, mues par déclenchement, système Sulzer; à l'échappement, deux tiroirs plans à jalousie. La commande de ces tiroirs d'échappement est intéressante : elle est faite par la crosse même du piston, qui, à chaque bout de course, vient toucher un galet; le déplacement de ce galet entraîne celui des tiroirs, et démasque brusquement et en grand les orifices d'échappement; l'examen des diagrammes relevés sur cette machine montre qu'en effet, pendant l'échappement, la contre-pression est très faible.

L'excentrique circulaire, aussi bien que la manivelle dont il dérive, donne aux organes auxquels il est relié un mouvement dont la loi est parfaitement déterminée; il ne peut donc, à lui seul, imprimer aux distributeurs de vapeur les mouvements compliqués que rendent nécessaires les détentes prolongées; telle est la raison qui a conduit à recourir, soit aux tiroirs superposés, soit aux divers dispositifs de déclenchement.

L'excentrique à ondes, au contraire, n'est nullement subordonné à ces conditions rigoureuses; quelle que soit la nature du mouvement que l'on juge utile d'imprimer au distributeur, il est toujours possible et facile de tracer un excentrique à ondes qui permette de réaliser ce mouvement, et même, si l'on a monté sur un même

Gr. VI. — Cl. 54.

axe divers excentriques de tracés différents, on peut modifier à son gré la loi du mouvement, en mettant en prise avec les organes à conduire l'un ou l'autre de ces excentriques.

Supposons juxtaposés l'un à l'autre une série d'excentriques à ondes, dont les tracés varient par degrés insensibles, on arrive à une surface continue, qui permet de faire varier progressivement la loi du mouvement; c'est le *manchon à bosses.*

Avec une commande de cette nature, les déplacements des organes n'ont pas la même douceur, ils sont plus brusques qu'avec l'excentrique circulaire; de plus, le contact à la périphérie se fait, non plus par la large surface d'un collier d'excentrique, mais par une aire très restreinte, d'où une usure bien plus rapide. Ce système ne semble donc bien approprié que dans les cas où la vitesse est modérée, et où les organes à mouvoir sont légers et présentent peu de résistance au mouvement.

Dans quelques-unes des machines de l'Exposition, la distribution se faisait par manchon à bosses ou excentriques à ondes.

Citons en premier lieu la belle machine *Compound* exposée par F.-M. Claparède, à Saint-Denis (Seine). Nous nous contenterons de la mentionner, nous réservant d'y revenir en parlant des machines à plusieurs cylindres.

La maison Artige et Cie, de Paris, exposait une machine horizontale, avec distribution par les fonds du cylindre, obtenue au moyen de quatre tiroirs plats à jalousie; la commande de la distribution est donnée par un arbre latéral, actionné par l'arbre de couche au moyen d'une paire de roues d'angle égales; les tiroirs d'échappement sont mus par des excentriques circulaires, calés sur l'arbre latéral; les tiroirs d'admission sont actionnés par une paire de manchons à bosses, coulissant sur l'arbre de commande, et déplacés par le régulateur. L'ensemble est compact et simple d'aspect et de construction.

Mentionnons encore la machine motrice de la section belge, exposée par la maison Cail, Halot et Cie, de Bruxelles, comportant une distribution à quatre tiroirs plats mus par des cames.

La Société John Cockerill, de Seraing (Belgique), avait une exposition fort importante, ressortissant à d'autres classes que celle

de la mécanique générale; il ne sera pas néanmoins hors de propos de dire quelques mots de deux machines à vapeur qui, par leur affectation spéciale, échappaient à l'examen du jury de la classe 54, mais qui présentent cependant un intérêt considérable pour les mécaniciens. Nous voulons parler de la grande machine d'épuisement et de la machine réversible pour laminoirs. Gr. VI. — Cl. 54.

La machine d'épuisement pour mines était remarquable par son immense balancier en fer, supporté à une grande hauteur par un solide bâti triangulaire, actionné à un bout par un cylindre vertical, et portant à l'autre extrémité la commande des pompes; la traverse de la tige du piston agit, par des bielles pendantes, sur une paire de grands volants calés sur un arbre de couche; celui-ci donne le mouvement par engrenages à un arbre parallèle, sur lequel sont calés les excentriques à ondes, qui commandent les soupapes à double siège servant de distributeurs. Cette machine est très remarquable par la judicieuse appropriation du système et des proportions aux conditions du travail; c'est précisément l'étude de ces conditions qui a conduit à donner à cette machine cette disposition et ces formes insolites, qui peuvent surprendre le regard, mais qu'un examen plus attentif justifie complètement.

La machine pour laminoirs exposée par la Société John Cockerill est une machine réversible; l'arbre de la machine commande directement un train à rails; lorsque la barre à laminer a passé dans une cannelure, la vapeur est renversée; la barre est immédiatement engagée dans la cannelure suivante et repasse en sens contraire, sans qu'il soit nécessaire de la ramener en avant du laminoir pour l'engager dans une nouvelle cannelure, comme cela a lieu quand les cylindres lamineurs ont un mouvement continu; avec un laminoir réversible, l'opération est très rapide, les barres se refroidissent peu et n'ont pas besoin d'être aussi souvent reportées au four; c'est au moyen de ces puissants outils que l'on arrive à fabriquer, en une seule chaude, les rails de plusieurs longueurs, dont on voyait de forts beaux spécimens dans l'exposition des usines de Seraing.

La machine réversible pour laminoirs doit être à la fois d'une grande puissance et extrêmement maniable; il faut que le méca-

Gr. VI. — Cl. 54.

nicien puisse renverser promptement la marche à chaque passage de la barre à laminer, c'est-à-dire plusieurs fois par minute.

Voici comment le problème a été résolu:

L'arbre de couche, sans volant et relié par des rallonges au train de laminoir, porte deux vilebrequins à angle droit, commandés chacun par un cylindre à vapeur horizontal. Chaque cylindre est muni de quatre soupapes à double siège, deux pour l'admission, deux pour l'échappement. Un arbre intermédiaire, parallèle au cylindre, prend son mouvement, par des roues d'angle égales, sur l'arbre de couche. Sur cet arbre auxiliaire sont enfilés des manchons à bosses, qui tournent avec lui et commandent les soupapes de distribution; ces manchons coulissent sur l'arbre intermédiaire, et, suivant leur position sur cet arbre, distribuent pour la marche en avant ou pour la marche en arrière, avec détente plus ou moins prolongée. Leur déplacement s'obtient très facilement au moyen d'un levier à la main du mécanicien; celui-ci peut donc, à volonté et par un simple mouvement du levier, lancer la machine dans un sens ou dans l'autre, avec le degré de détente correspondant à la pression de la vapeur et à la résistance à surmonter. Cette immense machine obéit, avec une docilité extrême, à la main de son conducteur, qui l'arrête et la fait repartir en avant ou en arrière, à n'importe quelle vitesse, avec la plus parfaite précision et une extrême facilité.

Nous avons passé en revue jusqu'ici les principaux systèmes de distribution, dont l'usage est tout à fait général et courant. Mais l'Exposition présentait un grand nombre d'autres distributions, plus ou moins originales et ingénieuses, quelques-unes fort intéressantes comme étude de cinématique.

Pour ce qui concerne la valeur pratique de ces nouveaux systèmes, il serait peut-être téméraire de l'apprécier avant une expérience prolongée; il est probable que le temps fera son œuvre ordinaire, qu'une bonne partie de ces combinaisons, souvent fort compliquées, se trouveront, au bout de quelques années, éliminées d'elles-mêmes, et que le travail de triage, qui s'est produit sur les modes de transmission du mouvement entre le piston et l'arbre de

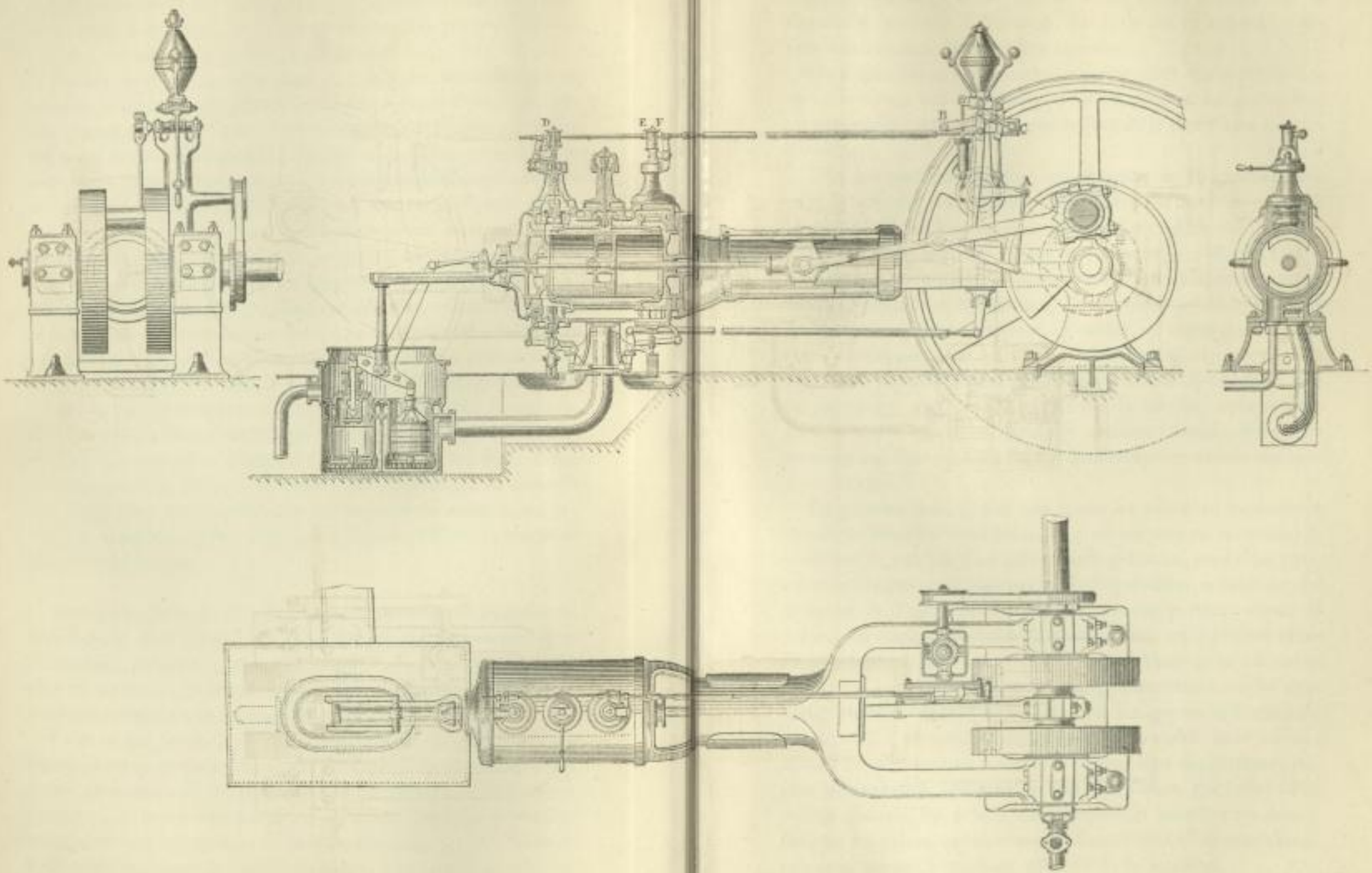


Fig. 23. — Machine à vapeur de la Société suisse de Winterthur.

couche, s'effectuera d'une manière analogue sur la multitude de dispositifs variés de distribution, auxquels ont eu recours les divers constructeurs des machines exposées.

Ces dispositifs en eux-mêmes n'auraient offert aux appréciations qu'un *criterium* fort douteux, et c'est en général sur des mérites plus tangibles, plus certains, que le jury de la classe 54 a assis ses décisions.

Une des machines les plus intéressantes de l'Exposition était celle de la Société suisse pour la construction des machines, de Winterthur. Cette machine est remarquable à plus d'un titre (fig. 23).

En premier lieu, sa vitesse exceptionnelle d'allure (100 à 120 tours à la minute) lui donne une grande puissance sous un volume restreint; et en effet son cylindre n'a que 40 centimètres de diamètre et 70 centimètres de course, et cependant la puissance développée dans les conditions normales atteint 120 chevaux. Cette rapidité permet aussi d'alléger beaucoup le volant, tout en conservant une grande régularité de marche, indispensable dans certaines industries. Mais elle entraîne comme conséquence certaines sujétions, qui ont été fort bien comprises dans la machine dont il s'agit.

En premier lieu, il faut que toutes les pièces en mouvement soient parfaitement équilibrées; on y est parvenu en composant le vilebrequin, non pas d'un arbre coudé ordinaire, mais d'un manneton pris entre deux plateaux en fonte parallèles, montés sur des tronçons de l'arbre de couche; ces plateaux portent, venus de fonte, des contrepoids calculés pour obtenir un équilibre satisfaisant. Cette construction serait un peu délicate pour un atelier ordinaire; mais la Société suisse, fabriquant surtout des locomotives, possède comme outils essentiels les presses hydrauliques, qui servent à monter les roues des locomotives sur leurs essieux; ce sont ces presses qui ont servi à l'assemblage des plateaux, soit avec le manneton, soit avec les tronçons d'arbre. Par l'effet de ce double plateau, les actions de la vapeur et les réactions dues à l'inertie des pièces en mouvement se combinent et se neutralisent en partie suivant le plan de symétrie de la machine.

Le bâti est lui-même symétrique et d'une forme aussi originale

Gr. VI. — Cl. 54.

que bien conçue; il se compose d'une première partie assemblée au cylindre, de forme cylindrique, et dont l'intérieur, exactement alésé, sert de guidage à la crosse du piston, qui glisse en s'appuyant par de larges patins; cette disposition n'est pas nouvelle, mais elle est ici fort heureusement appliquée. Au delà de cette glissière, le châssis se bifurque pour se rattacher aux deux paliers, qui saisissent l'arbre au delà des plateaux-manivelles. Le constructeur a bien compris que ce sont ces paliers qui ont à supporter presque tout l'effort; il les a établis solidement, sur une large base, tandis que le cylindre, qui, bien relié par le bâti à l'arbre de couche, n'exerce que des efforts modérés sur sa fondation, est porté sur un patin beaucoup moins robuste, qui permet le jeu libre des dilatations. Comme autre conséquence d'une grande vitesse, toutes les parties en contact frottent par de larges surfaces.

En outre, les passages de vapeur devant présenter un écoulement facile à la vapeur, la distribution est obtenue par des soupapes à double siège. La commande des soupapes d'admission est faite par un procédé fort ingénieux, mais un peu compliqué, qui consiste à prendre le mouvement, non pas sur un excentrique, mais sur le milieu de la grande bielle; ce point décrit un ovale allongé, et ce mouvement est transmis par un système comportant un point fixe A, un autre point fixe B et une coulisse C, et une série de tiges articulées à une tringle DE, guidée horizontalement et qui prend ainsi un mouvement oscillatoire; par les deux touches DE, cette tige vient appuyer successivement sur les deux touches FG, fixées aux leviers qui actionnent les soupapes d'admission. La barre BC, qui porte le point fixe B, et la glissière C s'inclinent plus ou moins sous l'action du régulateur, ce qui fait varier la détente. Quant à l'échappement, il est obtenu par un excentrique circulaire.

Cette distribution est due à M. Brown, ingénieur principal des ateliers.

Le problème posé dans l'établissement de cette machine est résolu avec une netteté et une précision remarquables. On s'aperçoit tout de suite, en la voyant marcher, qu'elle sort d'un atelier où

l'on a l'habitude de traiter des organes de locomotives, où on connaît les avantages des grandes vitesses, les conditions qui permettent de les réaliser et le prix qu'il faut les payer. Les formes sont belles, simples, vigoureuses, largement établies et parfaitement comprises. La construction est de premier ordre.

Les Ateliers de construction des chemins de fer de l'État (Hongrie) exposent une belle machine horizontale, fort bien étudiée et d'une exécution remarquable.

La distribution est assez simple, elle est constituée comme il suit: les deux tiroirs d'admission sont plats, disposés sur le côté du cylindre, et mus par un excentrique circulaire, avec déclenchement; ils sont ramenés dans la position de fermeture par de petits pistons à vapeur, jouant le rôle des ressorts des machines Corliss; les deux tiroirs d'échappement sont plats, à jalousie, et actionnés par des excentriques triangulaires calés sur un arbre intermédiaire, mû par engrenages; ce même arbre communique le mouvement au régulateur. L'ensemble est bien conçu et bien établi; la commande de l'admission étant indépendante de celle de l'échappement, l'admission n'est plus limitée, comme dans les Corliss ordinaires, à une petite partie de la course du piston, et peut s'étendre suivant la position des boules du régulateur, de 0 à 80 p. 0/0 de la course du piston. Cette distribution est brevetée au nom de MM. Zimmermann, directeur des ateliers, et Waldmann.

Citons également la machine de M. A. Collmann, de Vienne (Autriche), dont la distribution à détente variable par le régulateur est à quatre soupapes équilibrées, actionnées, sans déclenchement, par un système articulé, fort ingénieux, mais un peu compliqué, qui repose sur les mêmes principes que le genou à rotule, si employé dans les presses monétaires.

Mentionnons encore la machine de MM. Socin et Wick, de Bâle, avec admission par soupapes équilibrées, mues par déclenchement, genre Sulzer, et échappement par tiroirs à jalousie; machine bien étudiée et très bien construite.

Terminons enfin par la distribution de M. E. Skoda, de Pilsen,

Gr. VI. — Cl. 54.

du système Meyer, le tiroir de détente mû par déclenchement, avec pistons à vapeur remplaçant les ressorts Corliss.

Les machines à plusieurs cylindres combinés étaient fort nombreuses à l'Exposition universelle. Le système de distribution par haute et basse pression présente, au point de vue de la consommation de vapeur, des avantages généralement reconnus ; les cylindres ne se trouvent pas, comme dans les machines à un seul cylindre, successivement en communication avec la chaudière et le condenseur ; les alternatives de condensation et de vaporisation, qui se produisent avec tant d'intensité dans les machines ordinaires et sont si fâcheuses pour l'effet utile de la vapeur, sont ici atténuées dans une large mesure.

En dehors de cette cause importante d'économie, résultant du mode d'action même de la vapeur, dans les machines à deux cylindres, il en existe une autre d'un ordre tout à fait pratique, mais qui, dans la plupart des cas, n'en joue pas moins un rôle considérable. Dans une machine ordinaire, par défaut d'ajustage ou bien, après un certain temps de service, par suite d'usures plus ou moins inégales, il se produit des fuites ; la vapeur se rend, sans donner de travail, de la chaudière au condenseur, en passant, soit de la boîte à vapeur à la lumière d'échappement, par le joint du tiroir sur sa glace, soit d'un côté à l'autre du piston, par les surfaces de contact des segments avec les parois du cylindre ou avec celles des cannelures du corps de piston. Lorsqu'il y a deux cylindres, la vapeur qui a échappé au premier n'est pas complètement perdue, car elle travaille dans le second, et réciproquement les fuites au condenseur ne laissent perdre que de la vapeur ayant travaillé dans le premier cylindre ; entre la chaudière et le condenseur, la vapeur rencontre de nombreuses barrières, deux pistons, deux ou plusieurs distributions, qui atténuent dans une très large mesure ces fuites si pernicieuses.

En dehors, du reste, de toute considération théorique, une expérience prolongée semble avoir démontré les avantages de ce mode de distribution, et dans la marine, où l'économie de combustible est une question de premier ordre, on ne construit plus

guère, depuis quelques années, que des machines à haute et basse pression. Comme, pour obtenir une détente définitive fort prolongée, il n'est pas nécessaire que dans chaque cylindre la vapeur soit coupée très près du commencement de la course, on n'a plus besoin de recourir à des dispositifs de détente très parfaits ni très délicats, et la simplicité des organes de distribution compense en partie l'inconvénient d'avoir deux cylindres au lieu d'un seul.

S'il est assez facile de se rendre compte, au moins d'une manière sommaire, des avantages du système que nous examinons, la question est au contraire hérissée de difficultés lorsqu'on en arrive à chercher les meilleures conditions de fonctionnement. Quelles sont les meilleures proportions des cylindres? Doit-on faire commencer la détente dans le petit cylindre, ou est-il préférable que le petit cylindre travaille à pleine admission? Faut-il que les mouvements des deux pistons soient concordants ou discordants? Convient-il d'entourer les deux cylindres, ou un seul, d'enveloppes de vapeur? Quels sont le rôle et l'importance des espaces nuisibles? Comment la machine se comportera-t-elle quand le travail résistant viendra à varier? Vaut-il mieux que le régulateur agisse sur une valve ou sur une détente variable? Faut-il placer les organes actionnés par le régulateur avant le petit cylindre, ou entre les deux cylindres, ou à la fois dans les deux situations? Il y a là une foule de problèmes encore obscurs ou à peine posés; avec les puissants moyens d'expérience et d'analyse que l'on possède aujourd'hui, on peut espérer qu'un certain nombre d'entre eux ne tarderont pas à être résolus. Mais, pour le moment, la plupart des solutions sont fort contestées, les idées des constructeurs les plus habiles sur ces sujets délicats sont incertaines et contradictoires; l'Exposition porte le reflet de ces hésitations, et présente un grand nombre de systèmes différents de machines à plusieurs cylindres.

On peut 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

Gr. VI. — Cl. 54.

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.

La machine Woolf à balancier est un type qui rend tous les jours les meilleurs services dans les grands ateliers, lorsqu'on recherche une allure bien régulière et bien soutenue, sans réparations ni chômages fréquents, une marche économique et un entretien peu coûteux. Les dispositions générales ne s'écartent guère de celles adoptées par Watt, à la fin du siècle dernier, pour ses machines de manufacture, et les proportions des divers organes sont encore à peu près les mêmes. La machine verticale à balancier est restée, comme dessin général, presque exactement ce qu'elle était lorsqu'elle est sortie des mains du grand ingénieur, et malgré la création de nouveaux types, plus simples peut-être, plus compacts et dans tous les cas moins chers de premier établissement, c'est encore de nos jours l'outil préféré par un grand nombre de chefs d'industrie sages et compétents. Le balancier horizontal en fonte avec nervures, oscillant autour d'un axe placé au milieu de sa longueur, agit, par l'une de ses extrémités, sur la manivelle, au moyen d'une grande bielle verticale; à l'autre extrémité, les mouvements du piston sont transmis par l'intermédiaire du parallélogramme articulé, dont l'un des petits côtés s'assemble à la tige du piston, et dont le côté parallèle donne le mouvement à la pompe à air. Telles sont les dispositions dont une pratique de près d'un siècle a consacré l'excellence. La seule modification un peu notable qui ait été introduite est l'addition d'un cylindre de haute pression, accolé au grand cylindre, et dont le piston est relié à une traverse intermédiaire du balancier.

C'est ainsi que sont constituées plusieurs belles machines de l'Exposition.

Celle exposée par la maison Windsor et ses fils, de Rouen, est remarquable par sa belle exécution. Gr. VI. — Cl. 54.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du grand cylindre	$0^m,975$
Course du grand piston	2 ,140
Diamètre du petit cylindre	0 ,450
Course du petit piston	1 ,630

Le rapport des volumes engendrés par les deux pistons est de $\frac{1}{6,17}$.

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

Dans toutes ces machines, les deux cylindres sont à enveloppe complète de vapeur; la détente est fixe dans le grand cylindre; dans le petit cylindre, la détente est variable par le régulateur. M. Windsor obtient la détente par l'obturation de l'arrivée de vapeur, et le régulateur agit sur l'obturateur par l'intermédiaire d'une transmission fort ingénieuse, sur laquelle nous aurons à revenir.

MM. Powell et quelques autres constructeurs ont recours à la détente Correy: c'est une distribution par tiroirs superposés, dans laquelle les tuiles de détente sont mues par déclenchement; ce système est assez simple et fonctionne bien. D'après des témoignages dignes de foi, la marche de ces machines est très régulière, l'usure faible, et la consommation de bonne houille aux essais, avec de bonnes chaudières, descend au-dessous de 1 kilogramme par heure et par cheval indiqué.

Le système Woolf est appliqué à un certain nombre de machines horizontales; mais en général le mode de fonctionnement n'est pas tout à fait le même que dans les machines à balancier. Une seule des machines importantes de l'Exposition faisait exception; nous voulons parler du moteur Woolf de la maison Hermann-Lachapelle, de Paris: les deux cylindres sont côte à côte et enveloppés dans une même chemise de vapeur; les deux pistons sont

Gr. VI. — Cl. 54.

attelés sur une traverse unique, sur laquelle est montée la petite tête de bielle. La distribution est obtenue par un seul tiroir, placé sur le côté du petit cylindre, distribution fixe au grand cylindre, détente système Farcot à l'admission au petit cylindre. L'exécution est bonne ; l'ensemble est compact et assez simple. La disposition adoptée conduit à des espaces nuisibles fort importants ; d'autre part, les deux pistons inégaux, attelés à une seule traverse, ne sauraient exercer sur la bielle unique des efforts bien symétriques pendant toute la course, malgré la précaution prise de placer le point d'attaque du petit piston plus près que celui du grand piston du centre d'articulation de la bielle ; il y a là des tendances inévitables à la flexion.

Les outils en mouvement dans la section anglaise étaient actionnés par une magnifique machine construite par l'importante maison W. et J. Galloway et ses fils, de Manchester. C'était une machine Woolf horizontale, avec deux cylindres accolés, agissant sur des manivelles opposées ; voici les dimensions principales :

Diamètre du cylindre de haute pression	$0^m,51$
Diamètre du cylindre de basse pression	0 ,87
Course commune	0 ,92

La distribution dans le petit cylindre est donnée par une paire de tiroirs plats, commandés par excentrique circulaire, avec déclenchement réglé par le pendule centrifuge ; les ressorts Corliss sont remplacés par de petits pistons pressés par la vapeur ; dans le grand cylindre, la distribution est obtenue par deux tiroirs plats, mus par excentrique circulaire, et placés entre les deux cylindres. Cette machine, quoique à condensation, n'a pas d'enveloppe de vapeur, ce qui est une exception tout à fait singulière dans les machines exposées ; cette simplification est-elle justifiée ? C'est ce qu'il semble difficile d'affirmer, faute de données et d'expériences bien précises.

La construction de cette machine était de premier ordre, les formes très belles, les grandes pièces de fonte, bâti et volant-poulie, admirables de dessin et de venue, l'ajustage très soigné.

Ces qualités exceptionnelles d'exécution ont été unanimement et très vivement appréciées par le jury.

MM. Boudier frères, de Rouen, exposent également une machine Woolf horizontale à manivelles opposées, dont la distribution est obtenue par un tiroir unique, et la détente par un obturateur de l'arrivée de vapeur mû par déclenchement ; le type dont il s'agit a été créé par cette maison il y a plus de vingt ans. Un détail intéressant de cette machine est l'arbre à deux coudes, articulé au droit d'un des vilebrequins, afin d'éviter le chauffage et les grippements qui se produisent si souvent, à la suite d'un tassement ou d'un défaut d'ajustage, quand un arbre rigide est porté par trois paliers.

Dans la section espagnole, on voyait figurer une machine construite par la maison Alexander frères, à Barcelone ; cette machine est du système Woolf, avec cylindres verticaux en dessous de l'arbre de couche ; les deux pistons sont fixés sur la même tige, et le petit cylindre appliqué immédiatement au-dessus du cylindre de basse pression, disposition simple, mais gênante pour l'entretien du presse-étoupe commun aux deux cylindres. Les formes sont un peu démodées, mais la construction est fort bonne et bien entendue.

Arrivons maintenant à la machine Compound proprement dite, caractérisée par un réservoir intermédiaire, dans lequel se font l'échappement du petit cylindre et la prise de vapeur du grand. Rappelons que c'est à ce type que se sont arrêtées presque toutes les marines ; en France, les puissants moteurs installés sur les grands bâtiments de l'État sont presque tous à trois cylindres, un pour l'admission, deux pour la détente, agissant sur des vilebrequins calés à 120 degrés l'un de l'autre sur l'arbre de couche. Nous n'avons pas, d'ailleurs, à parler autrement des machines marines, qui ressortissent à une autre classe du jury.

Toutes les machines terrestres 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 mani-

Gr. VI. — Cl. 54.

velles calées à peu près à angle droit, ou qu'ils étaient placés sur le prolongement l'un de l'autre.

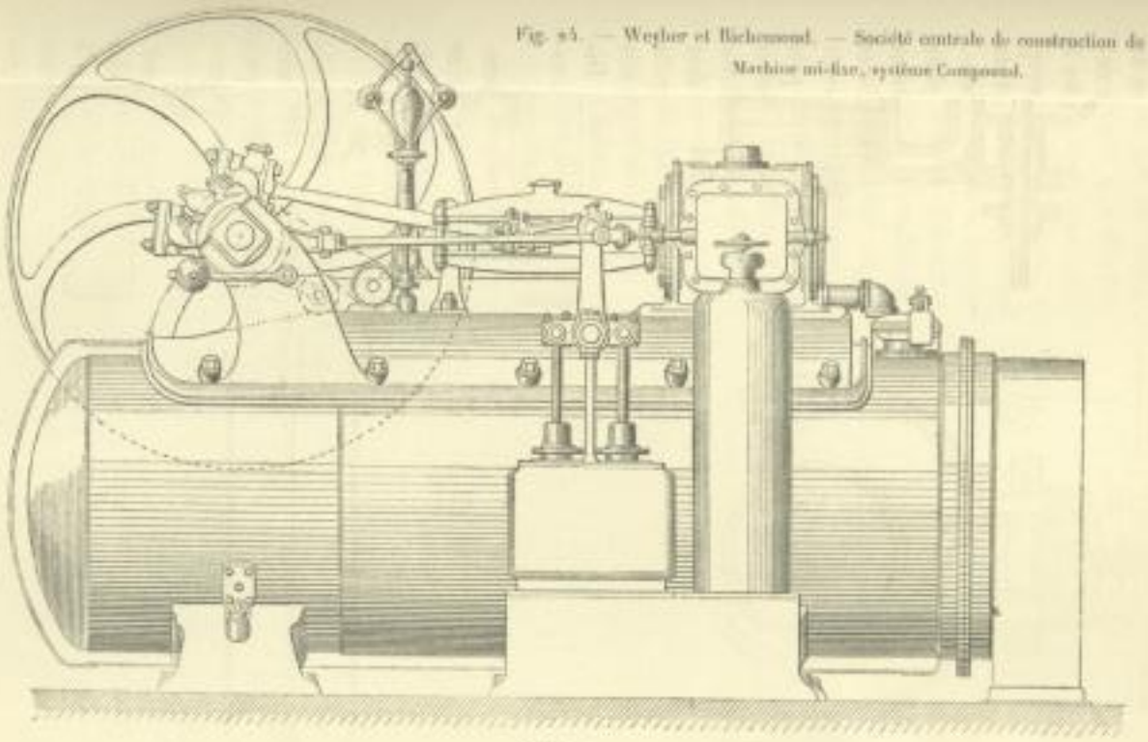
Examinons d'abord les machines établies suivant le premier de ces deux dispositifs. En dehors des avantages généraux de la détente par haute et basse pression, l'emploi de deux manivelles à 90 degrés a pour effet de donner au moment moteur beaucoup plus de régularité qu'une manivelle unique, ce qui permet de rendre le volant plus léger sans nuire à l'uniformité de vitesse. Plusieurs constructeurs ont cherché une solution plus complète encore, en s'efforçant de donner aux deux cylindres des proportions relatives telles que le travail soit égal dans chaque cylindre. Cette recherche est peut-être un peu subtile ; la condition ainsi imposée est en elle-même fort difficile à remplir d'une manière à peu près exacte ; au moment où l'on fait le projet d'une machine, il n'est guère possible, surtout pour les grandes expansions, de prévoir à l'avance avec quelque précision la courbe de détente qui sera réalisée : trop d'éléments inconnus influent sur ce tracé. Mais cette condition fût-elle même remplie pour une allure déterminée, elle cessera de l'être dès que le travail moteur viendra à varier. Disons tout de suite qu'il n'y est en général que médiocrement satisfait, sans qu'il en résulte d'inconvénient bien sérieux.

Les machines du système que nous examinons étaient nombreuses et intéressantes à l'Exposition. Nous ne pouvons moins faire que d'en décrire quelques-unes, d'autant plus que c'est, pour ainsi dire, une voie toute nouvelle, qui était à peine pratiquée jusque dans ces dernières années.

Le type de machines Compound créé par la Société de construction de Pantin (Seine) a pour objet de répondre à certains besoins qui se sont manifestés avec beaucoup d'intensité depuis quelques années. Il ne sera pas hors de propos d'analyser le problème que ces machines ont pour but de résoudre.

La dépense à faire pour établir une force motrice comprend, non seulement le prix du moteur lui-même, mais encore celui des fondations, des maçonneries, des bâtiments, des terrains à occuper; et le plus souvent ces frais accessoires l'emportent sur le principal. D'un autre côté, par le fait même de leurs progrès

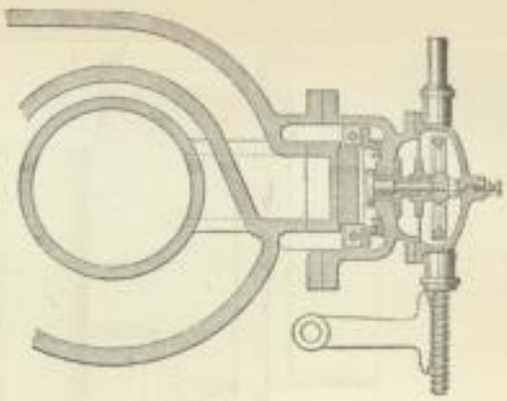
Fig. 25. — Weyher et Richemond. — Société centrale de construction de machines.
Machine mi-fixe, système Compound.

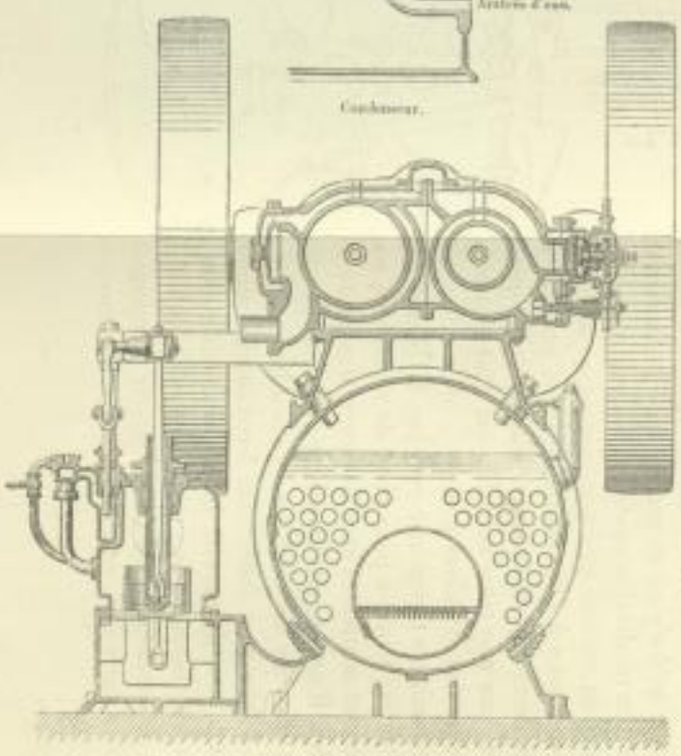


Élévation.

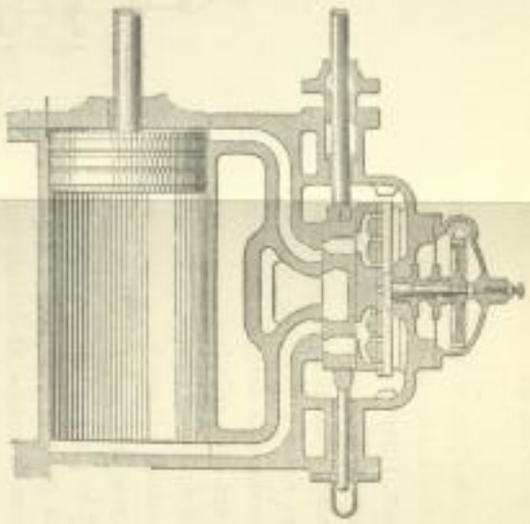
Arrivée d'eau.

Condenseur.





Coupe transversale.



Distribution au petit cylindre.

rapides et de la concurrence à soutenir, les industries les plus prospères sont dans un état de transformation à peu près permanent : un moteur, établi pour desservir une usine, devient au bout de peu d'années tout à fait insuffisant ; il faut alors le remplacer à grands frais, vendre à vil prix des machines et des chaudières presque neuves, en acheter de nouvelles, remanier bâtiments, fondations, massifs, cheminées, etc.

Pour réduire la dépense de ces transformations inévitables, un grand nombre d'établissements industriels, importants et bien administrés, n'emploient comme puissance motrice que des machines locomobiles ou mi-fixes : ces machines, formant un tout avec leurs chaudières, n'exigent presque aucune fondation ; elles sont très peu encombrantes, leur service n'exige qu'un personnel restreint, surveillant à la fois la chaudière et la machine, et, suivant les besoins de l'atelier, on peut facilement, soit les déplacer, soit les revendre à des conditions avantageuses. Mais cette solution présente des inconvénients sérieux : la puissance que peut développer une machine mi-fixe est assez limitée, à cause du volume énorme des chaudières puissantes ; d'autre part, la consommation de combustible est élevée, par suite de la simplicité indispensable de la distribution.

MM. Weyher et Richemond, administrateurs de la Société de construction de Pantin, se sont posé ce problème : établir une machine mi-fixe, d'une grande puissance (120 chevaux) et très économique comme consommation.

C'est par l'emploi bien entendu de la détente par échelons qu'ils sont parvenus à le résoudre. Les deux cylindres (fig. 24), placés côte à côte dans une enveloppe commune de vapeur, agissent sur des manivelles à angle droit ; la vapeur d'échappement du cylindre admetteur se rend dans un réservoir intermédiaire, et, de là, à la distribution du grand cylindre. L'arbre à deux vilebrequins, tournant sur trois paliers, porte à ses deux bouts des volants-poulies, qui sont fort légers à cause de la grande régularité du moment moteur. L'admission est gouvernée par un régulateur du système Denis ; la détente dans le petit cylindre est variable, au moyen d'une combinaison un peu complexe des

Gr. VI. — Cl. 54.

distributions Meyer et Farcot. La machine, fort ramassée, est supportée par un unique bâti en fonte, dont la base arrondie repose sur le corps cylindrique de la chaudière; celle-ci est relativement petite, par suite de la faible consommation de vapeur de la machine; elle est du système tubulaire à foyer démontable. La condensation est disposée latéralement; elle est obtenue par l'injection d'eau pulvérisée.

Une machine de ce système, développant 100 chevaux en marche ordinaire, à 60 tours par minute, a des cylindres de la dimension suivante :

Diamètre du petit cylindre	$0^m,33$
Diamètre du grand cylindre	0 ,65
Course commune	0 ,65

Elle s'inscrit, avec sa chaudière, ses volants et sa condensation, dans un parallélépipède ayant $6^m \times 3^m,50$ de base et $3^m,90$ de hauteur. La consommation de charbon, dans de bonnes conditions de marche, peut descendre au-dessous de 1 kilogramme par heure et par cheval, d'après les documents communiqués au jury.

Cette construction a été fort remarquée; on a vivement apprécié la bonne entente des conditions du problème, les belles formes et l'excellent travail. Les qualités exceptionnelles de cette machine ont contribué à faire attribuer à ses auteurs un des grands prix pour la mécanique générale.

Dans le pavillon du Creusot, on voyait une belle machine verticale, représentée dans le croquis ci-joint (fig. 25).

Les cylindres de cette machine ont les dimensions suivantes :

Diamètre du petit cylindre	$0^m,32$
Diamètre du grand cylindre	0 ,54
Course commune	0 ,65

Cette machine est faite pour marcher à 60 ou 80 tours, en développant, en allure normale, une puissance d'environ 60 chevaux. L'ensemble a la disposition dite *à pilon*, les cylindres étant

portés par deux paires de jambages au-dessus du socle, avec lequel sont venus de fonte les paliers de l'arbre de couche. La dis- Gr. VI. — Cl. 54.

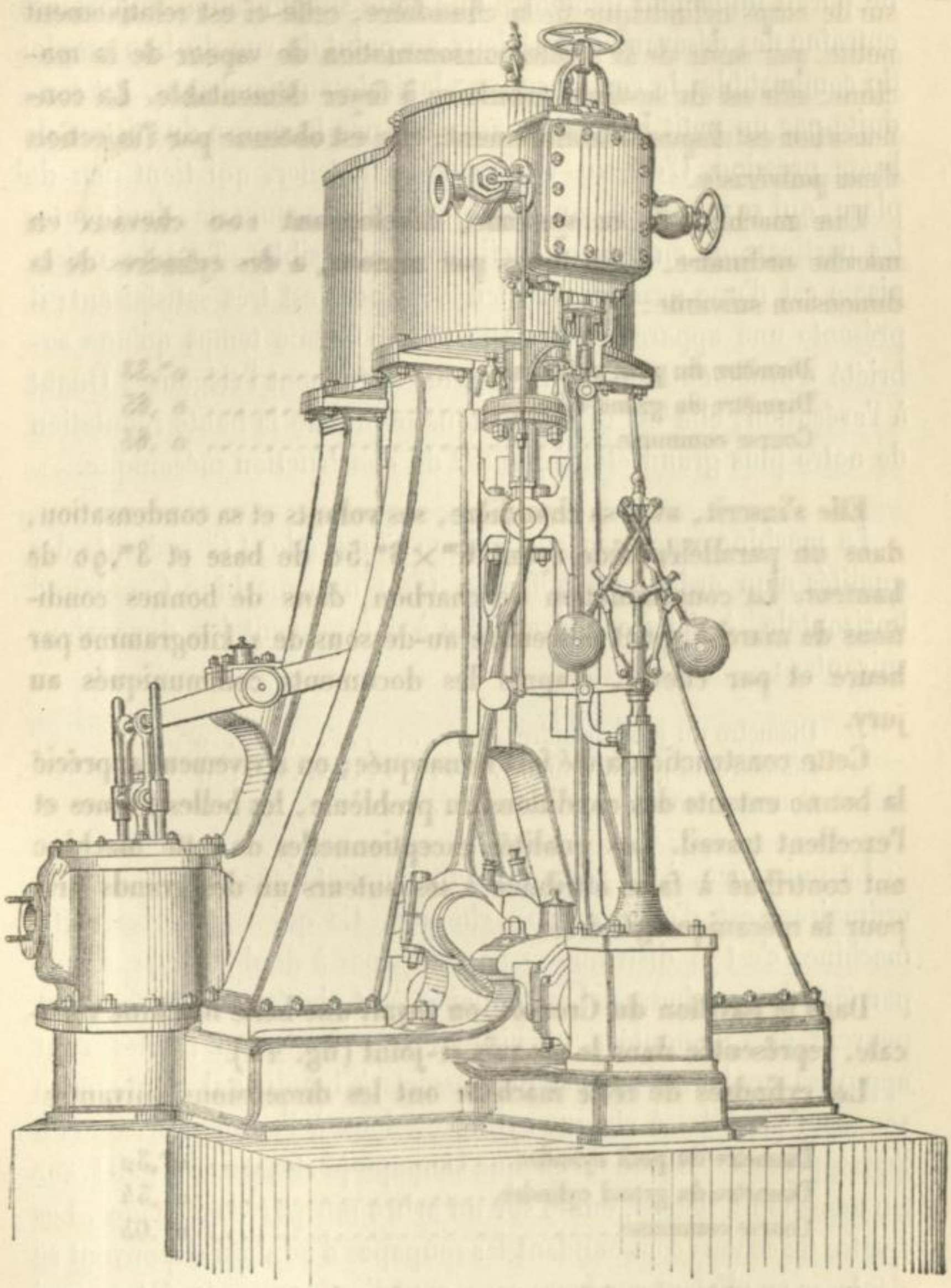


Fig. 25. — Machine Compound du Creusot.

tribution est faite par tiroirs en coquille, mus par des excentriques

Gr. VI. — Cl. 54.

circulaires, avec détente Meyer à l'admission; le régulateur agit, non pas sur les organes de détente, mais sur un papillon, et il ne paraît nullement démontré que cette simplification importante entraîne des désavantages sérieux au point de vue du bon emploi du combustible; la condensation, latérale aux jambages, est conduite par un petit balancier, actionné par la crosse du piston de basse pression. C'est un vrai moteur d'atelier, qui tient peu de place, qui se monte sur un simple bloc de maçonnerie, dont toutes les parties sont en vue et facilement accessibles. Tout le mécanisme est d'une grande simplicité; l'aspect est très satisfaisant; il présente une apparence de solidité, en même temps qu'une sobriété d'ornementation, qui n'exclut nullement l'élégance. Quant à l'exécution, elle est digne en tous points de la haute réputation de notre plus grand établissement de construction mécanique.

La machine exposée par la maison Claparède et Cie présente des qualités d'un ordre tout différent. C'est une machine Compound horizontale, à deux cylindres côte à côte, ayant les dimensions suivantes :

Diamètre du petit cylindre	$0^m,483$
Diamètre du grand cylindre	0 ,835
Course commune	0 ,900

La puissance, à la vitesse de 40 tours et dans des conditions ordinaires, est d'environ 150 chevaux. Ce qui caractérise cette machine, c'est la distribution par soupapes à double siège, mues par manchons à bosses. Les soupapes sont placées sur les fonds et peuvent être démontées et visitées très facilement; elles sont appuyées sur leur siège par des ressorts à boudin; il y a quatre soupapes pareilles à chaque cylindre, deux à l'admission, deux à l'échappement. La tige de chaque soupape porte, par un galet, sur un manchon à bosses, enfilé sur un arbre mû par engrenages. Les quatre manchons commandant les soupapes d'admission peuvent se déplacer en glissant sur leurs axes, sous l'action du régulateur, qui commande ainsi à la fois la distribution dans les deux cylindres.

Il y a dans tout cet ensemble une combinaison de plusieurs

idées heureuses. Ainsi le manchon à bosses, dont le tracé laisse toute liberté pour régler le mouvement des distributeurs, permet d'éliminer les conditions étroites et gênantes qui résultent de la commande par excentrique circulaire, ainsi que les artifices plus ou moins compliqués en usage pour échapper à ces conditions. Le régulateur, agissant à la fois sur la distribution de la haute pression et sur celle de la basse pression, acquiert ainsi une puissance et une promptitude d'effet qu'on ne saurait obtenir dans une machine Compound par l'action sur le seul cylindre admetteur; et en effet, lors d'une variation du moment résistant, le travail accumulé dans le réservoir intermédiaire sous forme de vapeur ne se modifie que lentement, de sorte que le cylindre de basse pression n'éprouve que petit à petit l'effet des changements introduits par le régulateur dans la distribution au petit cylindre. Le système de régulation adopté par la maison Claparède semble donc de nature à donner de bons résultats.

Ces principes une fois bien posés, il en est résulté, pour l'ensemble de la distribution, un système constitué par un petit nombre d'organes fort simples, et dont le jeu se comprend à première vue, avantage qui n'est pas à dédaigner. L'expérience prononcera sur quelques points douteux, tels que la durée des manchons à bosses et l'effort, peut-être un peu grand, demandé au régulateur pour déplacer ces manchons. La construction tout entière porte l'empreinte d'une étude sérieuse et attentive.

Cette machine est remarquable par sa douceur de marche : même à une vitesse de quelques tours par minute, son allure est parfaitement régulière.

D'autres machines, reposant sur des principes analogues, attiraient aussi l'attention. Nous pouvons citer 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), construction solide, simple, sévère, fort bien étudiée, et qui a été vivement appréciée par le jury. Nous mentionnerons aussi une machine Compound de

Gr. VI. — Cl. 54.

12 chevaux, forme à pilon, très bien faite, exposée par la Compagnie de l'usine de Gothembourg (Suède).

Les deux importantes maisons qui tenaient une place si considérable dans la section suisse, Sulzer frères, de Winterthur, et Escher Wyss et Cie, de Zurich, avaient l'une et l'autre une machine Compound horizontale, et ces deux machines se ressemblaient par plus d'un point; les deux cylindres horizontaux sont dans le prolongement l'un de l'autre, l'admetteur plus près de la manivelle; ils sont réunis par une forte pièce de fonte. La distribution est du genre Sulzer, et la détente variable a lieu dans les deux cylindres.

La machine d'Escher Wyss et Cie a les dimensions suivantes :

Diamètre du petit cylindre	0m,20
Diamètre du grand cylindre	0 ,40
Course commune	0 ,60

En allure normale, à 70 tours par minute, elle développe environ 50 chevaux. La construction est très belle et bien entendue.

La même maison expose une machine Compound, forme pilon, très ramassée, composée de deux cylindres côte à côte, de 20 centimètres et 38 centimètres de diamètre, et 22 centimètres de course, actionnant des manivelles à angle droit, avec détente variable et changement de marche par coulisse Stephenson. Cette machine, fort remarquable à tous les points de vue, est un moteur de navigation plutôt que d'atelier.

Les proportions de la machine Compound de MM. Sulzer frères sont :

Diamètre du cylindre de haute pression	0m,30
Diamètre du cylindre de basse pression	0 ,60
Course commune	0 ,90
Nombre de révolutions par minute	70

Dans les conditions normales de marche, elle développe 120, 150 chevaux; le petit cylindre est enveloppé de vapeur venant de la chaudière; le grand cylindre est entouré par une enveloppe qui reçoit la vapeur d'échappement du petit cylindre, et sert de réservoir intermédiaire.

Au cylindre de haute pression, l'admission est variable par le régulateur; au cylindre de basse pression, l'admission est fixe, et de 16 1/2 p. o/o de la course en marche normale; mais quand la détente au petit cylindre diminue, la pression au réservoir intermédiaire augmente, et il pourrait arriver que, pour de grandes admissions, cette pression dépassât la résistance des organes, calculés pour une marche normale. Pour éviter cet inconvénient, la distribution est combinée de manière à augmenter l'admission au grand cylindre, aussitôt que celle du cylindre de haute pression dépasse 40 p. o/o. Les détails de cette distribution ont été établis par M. Züblin.

Toutes les parties de cette machine sont étudiées avec un soin minutieux; des expériences précises et fort intéressantes, dont les résultats ont été communiqués au jury, ont permis d'apprécier l'influence des enveloppes et du réservoir intermédiaires. Ces expériences ont donné, pour une machine tout à fait analogue à celle exposée, une consommation de moins de 8 kilogrammes de vapeur par heure et par cheval indiqué.

Il existait, dans les galeries et dans les annexes, un grand nombre d'autres machines fixes intéressantes, soit par leur conception, soit par leur exécution, que nous ne saurions décrire, sans nous exposer à dénaturer le caractère de ce rapport. Les quelques machines que nous avons passées en revue peuvent être considérées comme représentant les principaux types aujourd'hui en usage dans les manufactures.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION III.

MACHINES LOCOMOBILES, MI-FIXES ET DIVERSES.

Sommaire. — Exposé et division.

Locomobiles et mi-fixes. — Propriétés des machines mi-fixes. — Propriétés des locomobiles. — Types ordinaires. — Machines françaises. — Machines anglaises. — Types divers.

Description de quelques machines. — Machines de Belleville, de Voruz, de Ransome, Sims et Head (foyer Schemioth).

Machines domestiques. — Machines de Baxter, de Saive, de Fontaine.

Pompes à vapeur. — Machines de Cornouailles.

Pompes avec volant. — Usines élévatoires de Lecouteux et Garnier, de Le Brun; machines de Durenne, de Dubuc, de Thirion, de Stapfer de Duclos, de Sulzer, de l'*Hydraulic Eng.-Co.*, de Beer, de Cockerill. — Pompes centrifuges ou rotatives à vapeur de Dumont, de Gwynne, de Locoge.

Pompes à vapeur sans volant. — Principes de la distribution. — Pompes de Belleville, de Stapfer de Duclos, de Merryweather, de Tangye, de Northey, de Tyler, de Hathorn, Davis et Davey. — Pulsomètre de Hall. — Pulsateur de Bretonnière. — Pompes à incendie.

Moteurs divers. — Des machines rotatives. — Petites machines à piston à grande vitesse : machines de Brotherhood, de Villans, de Beer, de Wigzell et Halsey et autres, de West, de Deck. — Machines rotatives de Taverdon, de Martin. — Servo-moteurs de Beer, de Farcot, de Stapfer de Duclos.

Nous examinerons, dans la présente section, une série d'appareils à vapeur, de dispositions et de puissances très variées, dont quelques-uns sont de création toute récente, et par cela même présentent un très vif intérêt.

Il n'est pas aujourd'hui d'ouvrage auquel la vapeur ne soit adaptée : en dehors de la puissance motrice qu'elle communique aux transmissions des grandes usines, en dehors de son rôle comme propulseur sur les chemins de fer, sur les cours d'eau et sur la mer, on la voit tirer la charrue, battre le blé, faire du mortier, monter des moellons, souffler le feu, pomper l'eau, etc. etc. Ces applications, chaque jour plus multiples, presque toujours inattendues, de la machine à vapeur, son immixtion dans tous les actes de notre existence, sont un des caractères les plus tranchés

de l'industrie de notre époque. La vapeur, asservie par les grandes découvertes du siècle dernier, est devenue de nos jours l'agent domestique, qui seconde l'homme dans tous ses travaux. Ce sont ces applications infiniment variées que nous avons en vue dans la présente section.

Nous examinerons successivement :

Les locomobiles et machines mi-fixes ;

Les pompes à vapeur ;

Les petits moteurs ;

Enfin diverses applications curieuses et nouvelles de la puissance de la vapeur.

Quand le travail à développer par une machine à vapeur n'est pas très considérable, qu'il ne dépasse pas, par exemple, une vingtaine de chevaux, il arrive le plus souvent que les dépenses de combustible ne sont qu'une partie assez faible du prix de revient de la force motrice ; les intérêts et l'amortissement de la machine, de la chaudière et des bâtiments, l'entretien, le graissage, le personnel, etc., forment un total plus élevé que le prix du charbon.

C'est alors que la machine mi-fixe, ensemble composé de la machine proprement dite et de la chaudière, vient rendre de sérieux services. En premier lieu, la place consacrée à la force motrice se trouve grandement réduite ; la mi-fixe se loge dans un coin de l'atelier ou sous un étroit hangar ; c'est là un avantage toujours important ; mais c'est une nécessité absolue lorsque, comme dans les villes, le terrain a une grande valeur. D'autre part, plus de fondations ou des fondations insignifiantes, la masse de la chaudière suffisant à elle seule pour assurer la stabilité. En outre, un seul ouvrier suffit pour conduire tout l'appareil groupé à sa portée. Enfin une mi-fixe est un outil presque portatif ; elle se déplace sans frais notables d'un point à l'autre d'une usine, et c'est là une facilité qui est loin d'être à dédaigner, surtout à une époque où, comme aujourd'hui, les industries se transforment fréquemment et entreprennent les travaux les plus variés. C'est ainsi que plusieurs de nos grandes maisons de construction répar-

Gr. VI. — Cl. 54.

tissent la force motrice considérable dont elles ont besoin entre plusieurs mi-fixes, placées en différents points de leurs vastes ateliers. Nous avons vu déjà quelques exemples remarquables de cette tendance, en parlant de la machine de la Société de construction de Pantin, type Compound, mi-fixe pouvant développer une centaine de chevaux-vapeur.

Considérées sous ce point de vue, les propriétés des mi-fixes sont fort appréciées, et l'usage de ces machines devient de plus en plus général. Les types les plus répandus ont des puissances variant de 4 ou 5 à 30 ou 40 chevaux.

Descendons encore d'un degré. Il ne s'agit plus d'une installation pouvant être modifiée ou transformée sans grande dépense, mais de travaux de quelques semaines ou même de quelques heures; la mi-fixe est alors posée sur des roues, et devient la locomobile. Quand on en a besoin, on l'amène sur le chantier, on cale les roues, on jette une courroie sur la poulie, et l'on met en marche.

Les circonstances dans lesquelles il faut avoir recours aux locomobiles sont trop variées et trop connues pour qu'il soit utile de les énumérer. Chaque fois qu'on n'aura à travailler que pendant un temps limité, chantiers de travaux publics, de travaux civils, épuisements, battage de pieux, confection de mortiers, élévation de matériaux, etc. etc., c'est à la machine locomobile que la puissance motrice sera empruntée; c'est ainsi qu'aujourd'hui, à Paris, la locomobile est devenue un outil tout à fait ordinaire pour la construction des édifices et des maisons privées. Il en sera de même dans une exploitation un peu étendue, dont les diverses parties doivent être attaquées successivement; tel est, par exemple, le cas des exploitations agricoles.

Cette incarnation nouvelle de la machine à vapeur n'est pas une des moins remarquables et des moins importantes pour le progrès de la civilisation. Désormais la puissance mécanique cesse d'être concentrée dans les grandes usines, sous la main d'ouvriers habiles, sous l'œil d'ingénieurs expérimentés; elle s'étend peu à peu au village, à la ferme et aux champs, dans les coins les plus

reculés du territoire, refoulant devant elle et faisant disparaître le travail ingrat et abrutissant du manœuvre. C'est par la locomobile que les connaissances mécaniques, et avec elles l'habitude de voir et de réfléchir, gagnent de jour en jour du terrain. Et cette invasion bienfaisante est aussi féconde par ses conséquences intellectuelles et morales que par ses résultats matériels et économiques.

L'idée de faire de la machine à vapeur un outil facile à déplacer a pris naissance presque dès le début; elle est antérieure à Watt, car déjà Smeaton, l'illustre ingénieur du phare d'Eddystone, en avait proposé la réalisation. Mais elle n'a pris une forme pratique que de nos jours; la locomobile moderne est fille de la locomotive; comme le puissant engin de nos chemins de fer, elle doit ses propriétés essentielles à la légèreté de son mécanisme et de sa chaudière; elle est constituée de même par une machine rapide et une chaudière tubulaire avec tirage activé par la vapeur d'échappement.

Les locomobiles ne comportent que des organes simples, solides, faciles à entretenir et à réparer. Elles sont, cela va de soi, sans condensation. Il n'en est pas toujours de même des machines mi-fixes; si en effet la question d'économie de combustible ne joue ici qu'un rôle un peu accessoire, il faut néanmoins remarquer qu'avec la condensation, la machine et la chaudière, pour une puissance donnée, peuvent être notablement plus petites, plus légères et moins coûteuses qu'avec l'échappement à l'air libre.

Le type de locomobile ou demi-fixe le plus répandu consiste en une chaudière tubulaire horizontale, portant à sa partie supérieure une machine horizontale, laquelle actionne un arbre coudé, muni d'un ou de deux volants-poulies.

A quelques détails près, soit de la chaudière, soit de la machine, la construction est la même dans tous les pays. Le plus souvent la chaudière est de la forme générale des chaudières de locomotive, la boîte à feu à un bout, la boîte à fumée avec cheminée à l'autre, les tubes entre les deux. Les chaudières de cette forme sont assez difficiles à visiter et à nettoyer, ce qui conduit

Gr. VI. — Cl. 54.

fréquemment à recourir aux foyers amovibles avec tubulure en retour, ou bien aux tubes démontables.

Pour les petites forces, la machine est simple, avec distribution par tiroir en coquille et excentrique circulaire; cette distribution n'est pas toujours bien réglée, et la consommation de vapeur est souvent fort élevée; l'inconvénient ne serait pas très grand au point de vue de la dépense de combustible, mais il est sérieux en ce sens qu'une grande consommation de vapeur nécessite une grande chaudière. Pour les puissances plus considérables, on a recours à des appareils de distribution plus complets, et même on fait agir le régulateur sur la détente variable.

Les constructeurs français établissent leur machine sur un solide bâti en fonte, posé sur le dos de la chaudière, avec laquelle il est réuni par des boulons à glissement, permettant la libre dilatation. Au contraire, dans la plupart des locomobiles anglaises, le cylindre d'une part et les paliers de l'autre sont invariablement rivés au corps cylindrique; on gagne ainsi quelque chose sur le poids, mais la résistance de la chaudière est mise en cause, ce qui nécessite des attaches et un rivetage plus solides, précautions assez rarement observées du reste; de plus, la dilatation est rattrapée sur le jeu du piston dans le cylindre, par une augmentation des espaces nuisibles.

Les locomobiles anglaises, beaucoup plus fréquemment que les nôtres, sont munies de deux cylindres conjugués, actionnant des manivelles à angle droit; cette disposition s'applique même pour des forces assez petites; elle a l'avantage de diminuer dans une forte proportion le poids du volant, et de faciliter le départ et le renversement de marche.

Pour les petites locomobiles, on supprime quelquefois la bielle et l'on adopte le type à cylindre oscillant, plus léger et plus ramassé que le type ordinaire. On voyait aussi à l'Exposition quelques locomobiles à deux cylindres à simple effet opposés, solution qui peut avoir de l'intérêt au point de vue de la légèreté, et lorsqu'il s'agit de commander des outils rapides.

Pour les petites mi-fixes, la chaudière tubulaire verticale est

en faveur; la machine est quelquefois horizontale et portée sur le socle en fonte de la chaudière; plus souvent elle est verticale avec cylindre en haut (forme pilon) ou cylindre en bas. Il existe des types de ce genre fort bien réussis, et tenant très peu de place. Cette forme est aussi très courante aux États-Unis pour les locomobiles proprement dites.

L'Exposition renfermait un grand nombre de locomobiles et de machines mi-fixes, généralement bien établies, et présentant toutes les conditions d'un bon fonctionnement. La locomobile est un article de fabrication courante; l'acheteur la trouve en magasin toute montée, prête à essayer et à expédier; d'une maison à l'autre, les modèles ne diffèrent souvent que par des détails accessoires; il va de soi que les uns la construisent bien, d'autres médiocrement.

La classification établie par le jury entre les divers exposants a donc été assise, moins sur les dispositions particulières de chaque machine exposée que sur les proportions plus ou moins heureuses, le bon agencement des organes, les soins apportés à l'exécution et au choix des matières, le prix de vente, la facilité de conduite et d'entretien, l'adaptation plus ou moins parfaite au service à faire, etc. etc. Tous ces mérites ont, par eux-mêmes, une très grande valeur, mais ils se prêtent mal à une description, dont le détail ne présenterait d'ailleurs qu'un intérêt fort médiocre. Nous devrons donc nous borner à examiner les appareils qui, à un point de vue quelconque, témoignent d'une recherche originale, d'une idée nouvelle susceptible d'utile application.

MM. Belleville et Cie, de Paris, appliquent aux locomobiles le système de chaudière qui porte leur nom, et qui a été précédemment décrit. La rapide montée en pression et la légèreté des chaudières de ce genre peuvent rendre dans certains cas de sérieux services; l'ensemble est combiné de manière à pouvoir se démonter, et former des colis d'un faible poids, faciles à transporter dans les pays de montagne; d'ailleurs la locomobile Belleville est fort légère et montée seulement sur deux roues.

D'autres constructeurs emploient, dans un but analogue, la chaudière Field.

Gr. VI. — Cl. 54.

M. J. Voruz aîné, de Nantes, construit en fonte brute une partie des organes de la machine, et parvient à leur donner une résistance suffisante, grâce à un dessin, un choix de fonte et un moulage extrêmement soignés et très bien réussis; il obtient ainsi une diminution notable de prix, compensée il est vrai par une augmentation de poids.

La maison Ransome, Sims et Head, à Ipswich (Angleterre), expose de belles locomobiles, destinées plus spécialement au service des plantations et fermes situées dans des pays éloignés et privés de communications faciles. La grille est disposée, d'après le brevet Head et Schemioth, pour brûler de la paille, des bagasses, des tiges de cotonnier et de maïs et autres rebuts végétaux. Ce combustible, qui flambe avec une extrême rapidité, est repoussé constamment sur une grille à large surface par une paire de cylindres en forme de laminoirs, mis en mouvement par la machine elle-même.

L'Exposition accuse une tendance, très prononcée et très générale, vers la substitution de la puissance mécanique à celle des moteurs animés, même pour les très petites forces. La solution de ce problème est fort importante, au point de vue de ce que l'on est convenu d'appeler la petite industrie, qui constitue en réalité un des facteurs les plus puissants de la prospérité d'un pays.

Répartir la force motrice, la mettre à la portée de l'ouvrier en chambre, en faire, ainsi qu'on l'a dit, un outil domestique, c'est là un problème d'une haute gravité. L'Exposition de 1878 n'en a pas apporté, sans doute, la solution complète; mais du moins des tentatives très sérieuses ont été faites dans cette direction. Les efforts des chercheurs se sont portés vers les machines à gaz, les machines à air chaud, les transmissions funiculaires, pneumatiques ou autres; pour le moment, nous n'examinerons que les petites machines à vapeur établies pour cet objet.

Elles sont assez nombreuses. En principe, elles ne diffèrent pas des machines ordinaires, si ce n'est par une extrême simplicité de tous les organes. Plusieurs exposants ont monté une petite locomobile sur tricycle; l'appareil dans son ensemble peut être traîné

par un ou deux hommes, comme une brouette ou une charrette à bras. Gr. VI. — Cl. 54.

Comme moteur à vapeur pour ouvrier en chambre, il faut citer tout d'abord la machine de Baxter. La chaudière est verticale, à foyer intérieur, avec tubulure en retour. Le couvercle en fonte de cette chaudière forme assise pour la machine, qui est verticale avec cylindre en bas; le cylindre est complètement immergé dans le réservoir de vapeur. Tous les organes sont dessinés et étudiés avec un soin extrême; ils sont exécutés avec une précision remarquable par la célèbre fabrique d'armes *Colt's arm Company,* à Hartford (Connecticut). La conduite et la mise en marche se font avec une grande facilité et sans exiger de soins assidus. Cette machine a eu beaucoup de succès en Amérique, où, depuis quelques années, il en a été mis en service un très grand nombre d'exemplaires.

Le moteur exposé par M. A. Saive, petit constructeur à Poissy, présente des mérites d'un tout autre ordre. Le modèle exposé est un des premiers, sinon le premier, qui ait été construit; par conséquent il porte la trace de tâtonnements inévitables; mais si l'exécution ne peut être comparée à celle du moteur Baxter, la conception est fort bien entendue, et l'appareil se rapproche davantage peut-être du véritable type du moteur en chambre. La chaudière est fort simple, verticale, à foyer intérieur; la grille est grande, le réservoir d'eau est considérable, comparé à la puissance de la machine, et le niveau de l'eau peut sans inconvénient osciller dans des limites étendues; tout est ainsi combiné pour que l'on n'ait à s'occuper qu'à de longs intervalles d'alimenter d'eau ou de coke. Le cylindre est vertical et entouré par le réservoir de vapeur; il est très large par rapport à sa longueur, et le mouvement est renvoyé latéralement par un balancier en fer, qui amplifie les oscillations, à la manivelle d'un petit arbre de couche. A l'Exposition, ce petit moteur était attelé à une pompe par une courroie; il accomplissait sans bruit sa besogne; il suffisait de temps à autre de jeter un peu de coke sur la grille et de mettre un peu d'eau dans la chaudière.

On voyait encore dans la galerie des machines un moteur à vapeur de plus petite taille, destiné à faire seulement quelques

Gr. VI. — Cl. 54.

kilogrammètres par seconde; c'est celui de M. H. Fontaine, à Paris; ici, le combustible est du gaz d'éclairage; il est amené sous la chaudière par un faisceau de chandelles Bunsen. Cette machine est extrêmement intéressante par le soin et l'ingéniosité qui ont présidé à l'étude des détails, tant de la chaudière que de la machine. Malheureusement, dans nos grandes villes, le gaz est un combustible très cher et qu'il faut économiser; or, comme nous l'avons vu, la machine à vapeur, et surtout les machines d'aussi petites dimensions, utilisent fort mal, sous forme de travail, la chaleur développée par le combustible. On se demande si, par une pareille application, même quand il s'agit de très petites forces, la machine à vapeur est bien faite pour résoudre la question, et si la machine à gaz ne serait pas là à sa véritable place. C'est ce que nous aurons à examiner en étudiant les machines thermiques, qui réalisent, par d'autres intermédiaires que la vapeur d'eau, la transformation du travail en chaleur.

Nous n'étendrons pas davantage cette étude sur les locomobiles et mi-fixes, la plupart des machines de cette catégorie qui figuraient à l'Exposition étant la reproduction de types déjà connus.

Jusqu'ici nous avons considéré la machine à vapeur en faisant abstraction du genre de travail qu'elle a à exécuter, et étudié le moteur en général, indépendamment de l'outil qu'il doit mettre en mouvement. Tel est en effet le cas le plus fréquent : d'ordinaire une machine à vapeur donnée peut être adaptée avec avantages à des industries fort différentes.

Mais il est un grand nombre de circonstances où le moteur et l'outil sont tellement liés ensemble qu'ils forment un tout indécomposable : c'est ce qui se rencontre, par exemple, dans les soufleries de haut fourneau, dans les pompes à incendie à vapeur, dans les locomotives, etc.

D'après la jurisprudence adoptée, le jury de la classe 54 n'avait pas en général à examiner les appareils offrant ce caractère : ils ressortissaient à la classe représentant l'industrie desservie spécialement par l'ensemble de la machine exposée.

Il y a eu cependant une série de machines de cette catégorie

qui sont venues tout naturellement se classer dans la mécanique générale : ce sont les pompes à vapeur. Le jury de la classe 54, ayant à étudier à la fois les pompes et les moteurs à vapeur, devait forcément s'occuper des machines composées de ces deux éléments. Mais, à ne considérer même que les pompes à vapeur, on retrouve encore certaines applications qui sortent du domaine de la mécanique générale; telles sont les pompes à incendie à vapeur (matériel du sauvetage, classe 67), les machines élévatoires pour l'épuisement des mines (matériel de l'exploitation des mines, classe 50), etc. C'est là d'ailleurs une des nombreuses conséquences de cette spécialisation, qui tend à s'accentuer de jour en jour davantage dans les procédés industriels, et qui est à la production économique d'un pays ce que la division du travail est à la production d'une manufacture.

Toutefois, cette scission entre la mécanique générale et la mécanique spéciale n'est pas tellement profonde, les limites ne sont pas tellement tranchées, qu'il n'y ait pas parfois intérêt à jeter un coup d'œil par delà la barrière; nous aurons ainsi occasion, sans entrer dans les détails, de trouver dans les classes voisines des objets d'étude et des comparaisons instructives.

Les premières machines à vapeur qui aient rendu des services utiles étaient destinées à l'élévation des eaux. Elles étaient dues à Savery, qui les construisait à la fin du XVIIe siècle. C'étaient des machines sans piston, la pression de la vapeur s'exerçant directement sur la surface de l'eau à élever. Dix ans après, Newcomen imagina une nouvelle pompe à vapeur qui fut successivement améliorée par un grand nombre d'ingénieurs distingués, parmi lesquels il faut nommer en première ligne l'illustre James Watt. Par une suite de progrès successifs, qui durèrent plus d'un siècle, cette machine finit par s'incarner dans un type remarquable, encore en usage de nos jours, et qui n'a guère été surpassé comme économie de consommation, la machine de Cornouailles.

La machine de Cornouailles, comme celle de Newcomen, comporte d'une part un cylindre à vapeur, d'autre part un cylindre à eau, entièrement distincts l'un de l'autre; et les deux pistons qui

Gr. VI. — Cl. 54.

se meuvent dans ces cylindres sont reliés entre eux par une transmission, sans arbre de couche ni volant.

Ces machines sont surtout employées pour l'asséchement des mines; les pompes, agissant à de grandes profondeurs, sont manœuvrées par des tiges très longues et d'un poids considérable, et c'est précisément cette circonstance qui a permis de faire usage de la détente, les masses énormes mises en mouvement emmagasinant, sous forme de force vive, l'excès du travail moteur pendant la période de pleine admission, pour le restituer au moment où, par suite de l'expansion de la vapeur, la résistance devient prépondérante, et où par conséquent la vitesse diminue. L'importance de ces masses doit être en rapport avec la puissance de la machine, et leur action est tellement nécessaire que, même dans les cas où les longues et lourdes tiges de commande n'existent pas, on les remplace par des poids considérables, attachés au piston de la pompe: c'est ainsi, par exemple, que sont disposées la plupart des anciennes machines élévatoires destinées à l'alimentation des villes.

D'autre part, la course du piston n'est pas limitée; la longueur des excursions varie d'un coup à l'autre, suivant les variations accidentelles de l'admission, de la pression de la vapeur, de la résistance due au travail des pompes et des frottements; on règle la machine pour qu'en allure normale, le piston ne s'approche pas trop des fonds du cylindre à vapeur, ce qui n'est pas une condition favorable au bon emploi de la vapeur; si, par une cause quelconque, le travail moteur en une excursion devient prépondérant, le piston vient toucher violemment les fonds; cet accident, souvent d'une gravité extrême, peut résulter de circonstances difficiles à prévoir et à éviter; il suffit, par exemple, que l'une des pompes soit désamorcée, qu'une fuite se produise dans les conduites d'eau, dans les pompes ou dans la machine.

Ces nombreuses sujétions de masses additionnelles, de réglage précis, de surveillance assidue, sont fort gênantes. Dans les machines élévatoires récemment construites, on s'en est affranchi, en reliant le piston à un arbre avec manivelle et volant; les excursions sont ainsi rigoureusement limitées, le piston arrive à l'extré-

mité de sa course avec une vitesse régulièrement décroissante, et le volant sert à franchir les points morts. Telle est la forme la plus récente, et, il faut le dire, la plus compliquée de la pompe à vapeur; elle comprend, d'une part, une machine à vapeur complète à rotation, avec piston, bielles, arbre de couche, volant, etc.; et d'autre part, une pompe commandée, soit directement par la tige du piston, soit indirectement par une transmission.

Cette disposition se rencontre à tous les degrés de grandeur, depuis l'immense machine pour l'alimentation d'eau des villes, jusqu'au *petit cheval alimentaire* des chaudières à vapeur.

Mais les deux autres types dont nous avons parlé ci-dessus, la pompe à vapeur sans arbre de couche et la pompe à vapeur sans piston, ont fait l'un et l'autre une nouvelle apparition à l'Exposition. Le premier de ces deux types est surtout employé pour les appareils de petite puissance; quant à la pompe sans piston, elle a pris aujourd'hui des formes très variées, injecteur, bouteille alimentaire, pulsomètre, et rend ainsi de sérieux services.

Jetons d'abord un rapide coup d'œil sur les pompes à vapeur avec arbre de couche. Nous commencerons par l'examen des deux usines hydrauliques qui élevaient les eaux de la Seine pour le service de la grande cascade du palais du Trocadéro.

L'usine établie sur la berge du quai de Billy par MM. Lecouteux et Garnier, de Paris, a été construite pour élever par heure un volume de 750 mètres cubes, à une hauteur moyenne de 47 mètres, comprise entre le niveau de la Seine et celui du bassin placé sur les hauteurs du Trocadéro.

Cette usine se compose de deux machines, conjuguées par des manivelles à angle droit sur un arbre horizontal muni d'un volant. Les machines sont du type Corliss. La tige du piston, prolongée à travers le fond postérieur du cylindre, actionne directement le piston, en forme de double plongeur, de la pompe élévatoire. Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre des pistons à vapeur 0m,66
Diamètre des pistons des pompes . . . . . 0 ,37

Gr. VI. — Cl. 54.

Course commune	$1^m,31$
Nombre de tours par minute en marche normale	30

Les pompes sont du système Girard, de la forme dite *en tonneau;* le corps de pompe présente un très grand volume, et le plongeur a ses extrémités allongées comme des proues de navire; les clapets sont en cuir et tôle, de petite dimension, en grand nombre, et appuyés sur leur siège par de légers ressorts en caoutchouc; une faible levée de ces clapets suffit pour ouvrir une large section d'écoulement. Grâce à ces précautions, on a pu imprimer aux plongeurs une grande vitesse qui, sur le pied de 30 tours à la minute, est de $1^m,31$ par seconde en moyenne, et qui peut s'élever sans inconvénient à $1^m,80$, à raison de 40 révolutions par minute. Ces grandes vitesses sont caractéristiques de ce système de pompes; jusqu'à ces dernières années on les considérait comme impraticables; si l'on peut aujourd'hui les aborder sans danger et sans réduction du rendement, c'est grâce à une étude approfondie des fonctions et des formes des pistons, clapets et autres organes. On y trouve d'ailleurs des avantages sérieux: diminution de volume, de poids, de prix et d'encombrement, commande directe de la pompe par le piston à vapeur, sans l'intermédiaire d'un balancier, etc.

L'usine élévatoire établie à côté de la précédente par M. Le Brun, de Creil, devait élever par heure 750 mètres cubes à une hauteur de 40 mètres. Cette usine comporte une paire de machines horizontales, conjuguées sur un arbre de couche avec volant, et une paire de pompes horizontales à double effet. Les pompes sont commandées par un balancier horizontal, de telle sorte que leur vitesse soit moindre que celle du piston à vapeur.

Les dimensions principales sont:

Diamètre des pistons à vapeur	$0^m,70$
Course des pistons à vapeur	1 ,60
Diamètre des pistons des pompes	0 ,52
Course	1 ,00
Nombre de tours par minute en marche normale	16

A cette allure, la vitesse moyenne des pistons des pompes est de $0^m,53$ par seconde, celle des pistons à vapeur étant de $0^m,85$.

M. Durenne, constructeur à Courbevoie, expose une pompe à vapeur à double effet, actionnée directement par une machine à vapeur. Cet appareil a été étudié pour un cas spécial : il est construit pour la Compagnie générale des eaux, et destiné à servir de secours pour certains établissements de cette compagnie. C'est dire qu'il doit occuper peu de place, être facile à transporter et à mettre en service rapidement. Il se compose d'une machine Compound verticale, forme pilon, actionnant un arbre de couche à deux vilebrequins à angle droit, sur lequel est montée une paire de petits volants. Chacune des manivelles agit à son tour, par bielle et glissières, sur la tige d'une pompe de refoulement, horizontale et à double effet : la tige de l'une des pompes actionne la pompe à air. L'ensemble est porté par un bâti unique. Les dimensions sont les suivantes :

Diamètre du petit piston à vapeur	$0^m,27$
Diamètre du grand piston à vapeur	0 ,52
Diamètre des pistons des pompes	0 ,20
Course commune	0 ,30
Nombre de tours par minute en marche normale	40
Débit à l'heure, environ	90^{mc}

M. Dubuc, de Paris, expose une machine élévatoire conçue d'après les mêmes idées, avec cette différence que, l'installation étant fixe, toute la machine est disposée horizontalement et en longueur ; d'une part, les deux cylindres Compound agissent sur les deux vilebrequins d'un arbre à double volant ; d'autre part, les tiges des pistons, prolongées à travers les fonds postérieurs des cylindres, actionnent une paire de pompes à double effet avec pistons plongeurs.

C'est là une des dispositions les plus généralement usitées pour les machines de cette espèce : le cylindre à eau et le cylindre à vapeur sont placés dans le prolongement l'un de l'autre, et les

Gr. VI. — Cl. 54.

deux pistons sont montés sur une tige unique; l'arbre du volant est disposé à un bout ou à l'autre, et actionné par une bielle directe, ou bien par des bielles en retour quand la place fait défaut. Souvent aussi, dans les petits appareils, l'arbre est placé entre les deux cylindres, et la manivelle est commandée, non pas par une bielle, mais par une glissière perpendiculaire à la fois à l'arbre et à la tige commune aux deux pistons. Quelquefois enfin l'arbre, placé entre les deux cylindres, se termine, à côté de cette tige, par une manivelle actionnée par une bielle, laquelle se meut, non pas dans un plan passant par l'axe de la machine, mais dans un plan latéral.

Telles sont les formes aujourd'hui les plus usuelles des pompes à vapeur; on les retrouve adaptées à des machines de toutes dimensions, depuis les plus puissants appareils élévatoires, tels que l'usine Lecouteux et Garnier du quai de Billy, jusqu'aux petits *chevaux alimentaires* des chaudières à vapeur, qui ne donnent que quelques litres à la minute. L'Exposition offrait un grand nombre de spécimens de ce genre de machines; citons seulement celles de Thirion, de Paris, de Stapfer de Duclos et Cie, de Marseille, de Sulzer frères, de l'*Hydraulic engineering Company* (Chester), les unes et les autres fort bien construites et combinées.

La même disposition est aussi appliquée aux puissantes machines d'épuisement des mines; néanmoins, dans ce cas, on redoute d'imprimer aux longues tiges qui commandent les pompes les grandes vitesses qui conviennent bien aux pistons à vapeur, et l'on préfère intercaler un balancier à deux bras inégaux : au petit bras est attachée la maîtresse tige, suspendue dans le puits de mine par son extrémité supérieure, et recevant ainsi un mouvement oscillatoire d'une amplitude limitée; le grand bras de levier est attaqué par le piston à vapeur, qui peut ainsi avoir une course proportionnée à son diamètre; souvent ce bras lui-même est prolongé et porte, au delà du cylindre à vapeur, un contrepoids dont l'action est d'autant plus puissante qu'il agit à une plus grande distance du centre d'articulation. Sur le balancier ou sur la traverse du piston, s'attachent les bielles, donnant le mouvement à l'arbre de couche et au volant.

Les deux maisons belges Beer, de Jemeppe, et J. Cockerill, de Seraing, ont adopté cet agencement pour leurs grandes machines d'exhaure; le cylindre est vertical et le balancier horizontal; dans la machine de Beer, le cylindre est porté par un bâti au-dessus du balancier; il est au-dessous dans la machine de Seraing.

Avant de terminer ce sujet, rappelons qu'il existait à l'Exposition un certain nombre de machines à vapeur à grande vitesse, actionnant directement des pompes centrifuges (Dumont et Cie, de Paris, Gwynne et Cie, de Londres, etc.). La maison Gwynne, John et Henry, de Londres, exposait le modèle d'une remarquable et puissante installation, exécutée à Ferrare d'après ce dispositif. On voyait aussi une machine à mouvements rapides, combinée avec une pompe du système Greindl, ensemble constituant une pompe à incendie, et exposé par la maison Locoge et Cie, de Paris.

L'introduction de l'arbre de couche et du volant a apporté, dans le fonctionnement des pompes à vapeur, une sécurité, une régularité que n'offraient pas au même degré les machines de Cornouailles; à cette amélioration vient se joindre un avantage d'une autre nature, c'est une plus grande facilité pour commander les organes de distribution. C'est là une propriété générale des machines à rotation qu'il ne sera pas inutile d'expliquer.

Dans une machine à vapeur, le piston reçoit la pression de la vapeur alternativement sur une face et sur l'autre; si le distributeur de vapeur a une certaine position quand le piston va dans un sens, il doit avoir une position différente lors du retour de piston. C'est ce que l'on obtient très simplement au moyen de l'arbre de couche : sur cet arbre, et formant un certain angle, sont calés la manivelle et l'excentrique, reliés, la manivelle au piston, l'excentrique au tiroir, et animés d'un mouvement de rotation commun; pendant une révolution de l'arbre, le piston et le tiroir décrivent chacun une double excursion, mais les mouvements de ces deux organes ne sont pas concordants : quand l'un est au point mort, l'autre en est plus ou moins éloigné; par suite lorsque le piston passe, par exemple, au milieu de sa course à l'aller, la position du tiroir ne sera pas la même que lorsque le

Gr. VI. — Cl. 54.

piston revient au même point dans la marche rétrograde; la condition essentielle de la distribution se trouve ainsi remplie.

Il n'en est plus de même dans les machines sans arbre de couche: si le tiroir est relié au piston, soit directement, soit par des leviers, des bielles, des balanciers ou autres transmissions de même nature, telles que tiroir et piston aient des vitesses à peu près proportionnelles, il est clair qu'ils arriveront ensemble à leurs points morts, qu'à une position de l'un ne correspondra qu'une seule position de l'autre, et que la distribution ne pourra pas se faire.

L'artifice employé par Newcomen, et qui se retrouve dans toutes les machines sans arbre de couche, consiste à n'établir entre le piston et le tiroir qu'une liaison momentanée : le distributeur reste indépendant et immobile pendant la plus grande partie de la course; Newcomen se servait à cet effet de cordes ou de courroies, qui n'agissaient, pour ouvrir ou fermer les orifices de vapeur, que lorsque le mouvement du balancier les avait tendues; à ce système, peu satisfaisant comme durée et sécurité, on substitua plus tard des taquets qui, venant au contact de poignées mobiles pour certaines positions du piston, agissaient ainsi sur les distributeurs. C'est de cette façon qu'est constituée la distribution des machines de Cornouailles, abstraction faite de la cataracte dont nous aurons à reparler. La figure 26 ci-contre représente ce genre de distribution sous une forme schématique.

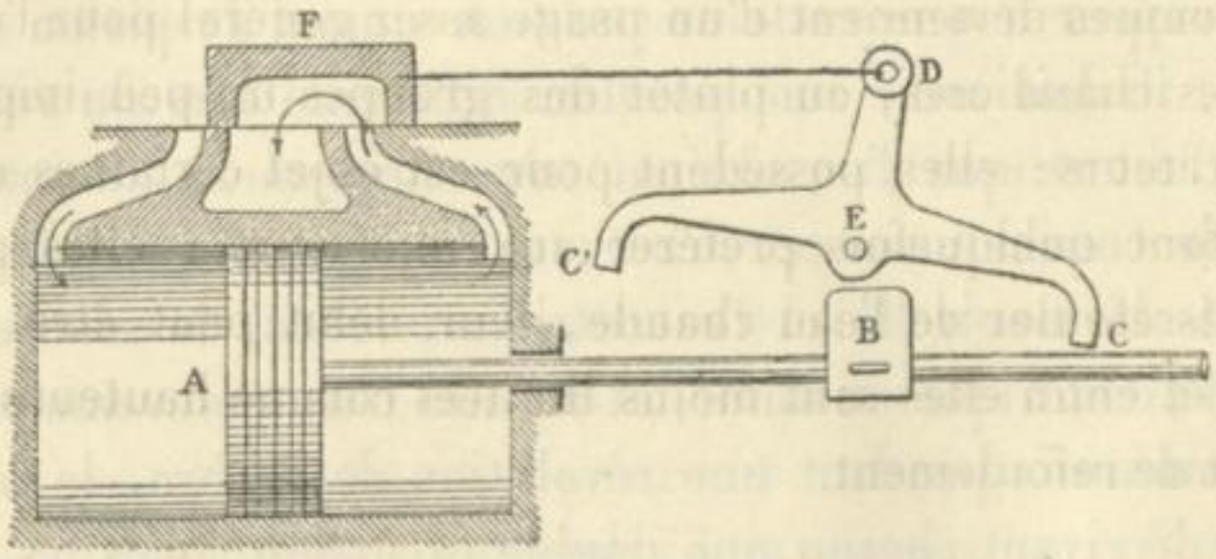


Fig. 26. — Distribution.

La tige du piston A porte une touche B qui, lorsque le piston approche de l'extrémité de sa course, vient en contact avec l'un

ou l'autre des deux taquets C et C′, et fait basculer autour du point E la potence CDC′ ; cette potence étant reliée au tiroir F, la distribution se trouve renversée, et l'appareil commence immédiatement son excursion rétrograde.

Sous cette forme élémentaire, la distribution sans arbre de couche présente un inconvénient sérieux, qui devient surtout d'une grande gravité pour les appareils légers et de petites dimensions ; c'est que la machine est exposée à s'arrêter aux points morts.

En effet les pompes dont il s'agit marchent sans détente, parce que les masses en mouvement sont faibles ; il y a constamment équilibre entre les pressions de la vapeur, agissant comme puissance motrice, et les pressions de l'eau, agissant comme résistance sur le piston de la pompe ; la vitesse des deux pistons est petite ; et dès que l'arrivée de la vapeur est fermée, tout le système s'arrête.

Or, le piston s'approchant de l'extrémité de sa course, la touche B va venir en contact avec le taquet C, le tiroir sera repoussé peu à peu vers la gauche, la lumière va s'étrangler de plus en plus, finalement elle se fermera et l'appareil cessera de fonctionner.

Cette difficulté a été tournée par divers artifices ; nous aurons à en signaler quelques-uns en passant en revue les principales pompes à vapeur sans arbre de couche.

Ces pompes deviennent d'un usage assez général pour l'alimentation des chaudières, ou plutôt des groupes un peu importants de générateurs ; elles possèdent pour cet objet certaines qualités qui les font quelquefois préférer aux injecteurs : elles peuvent puiser et refouler de l'eau chaude, leur débit peut être réglé à volonté, et enfin elles sont moins limitées comme hauteurs d'aspiration et de refoulement.

Dans les chaudières Belleville, dont le plan d'eau ne présente qu'une surface restreinte, il est nécessaire que l'alimentation soit réglée avec une grande précision, d'après la hauteur du niveau d'eau dans le générateur. M. Belleville emploie à cet effet un petit

Gr. VI. — Cl. 54.

cheval alimentaire, lequel reproduit presque exactement les dispositions qui viennent d'être décrites (fig. 27).

A est le cylindre à vapeur, B la pompe, CDE la potence oscillant autour du point F, et commandant le tiroir par l'intermédiaire de la bielle EG.

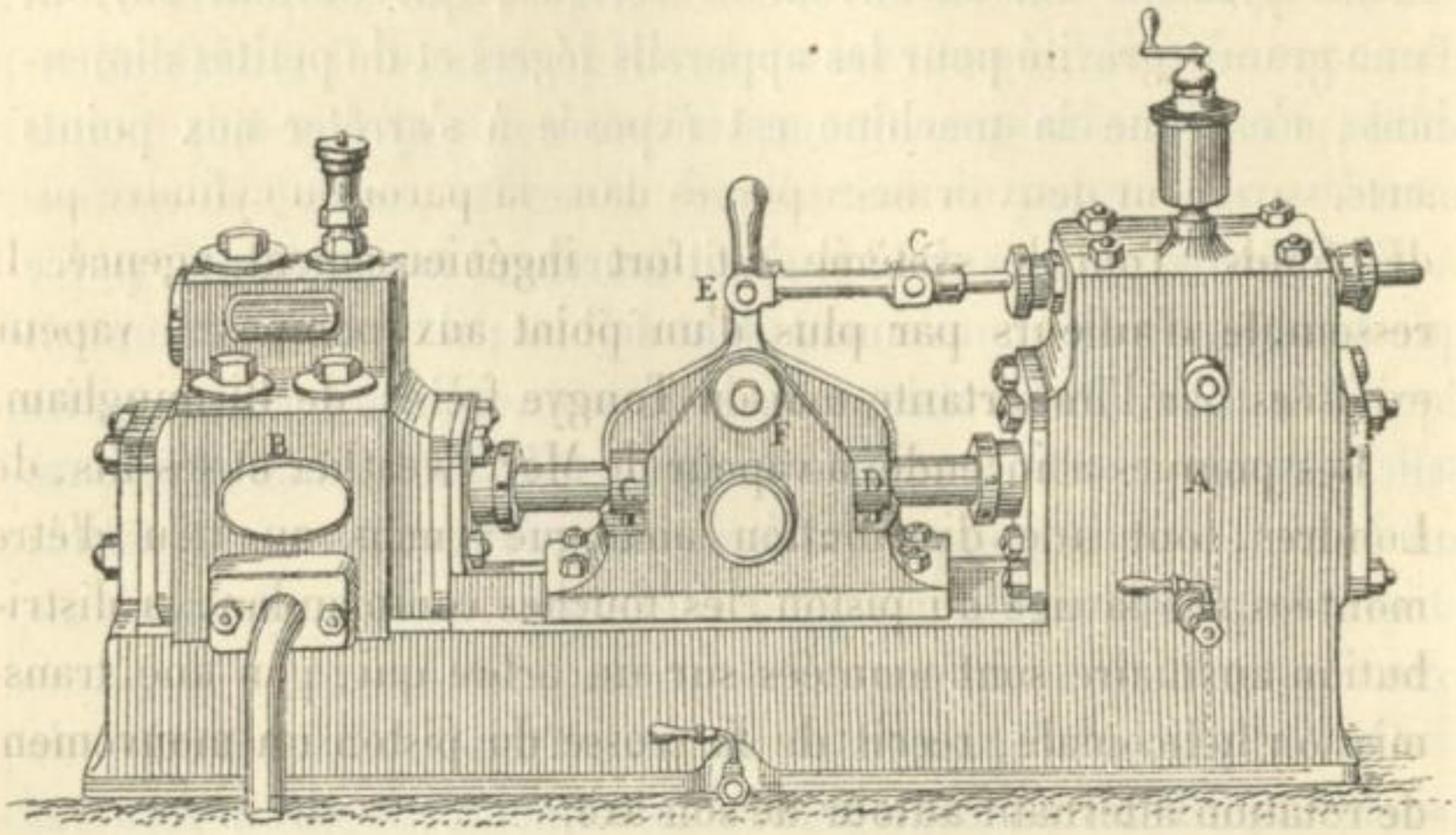


Fig. 27. — Pompe à vapeur de Belleville.

Un flotteur, dont les mouvements suivent ceux du niveau de l'eau dans la chaudière, agit sur une valve pour étrangler plus ou moins et, au besoin, couper l'arrivée de vapeur; il règle la vitesse de la pompe et le débit d'eau d'alimentation, suivant la hauteur plus ou moins grande du plan d'eau, laquelle se trouve ainsi maintenue à peu près constante. L'artifice employé dans cette pompe pour franchir les points morts est le suivant : quand le piston est près de la fin de son excursion, et avant le renversement de la distribution, un robinet est ouvert, qui fait communiquer entre elles les deux faces du piston à eau; la résistance étant ainsi, sinon détruite, du moins très diminuée, la vitesse du piston s'accélère, et il franchit la position correspondant à la fermeture simultanée des deux lumières.

Voici un autre moyen assez fréquemment usité pour le même objet : le système de renversement de marche que nous avons décrit agit, non pas sur la distribution du cylindre à vapeur prin-

cipal, mais sur celle d'un petit cylindre auxiliaire, dont le piston actionne à son tour le grand tiroir. Grâce à ce mode d'action indirecte, on voit que des arrêts au point mort ne peuvent plus se produire.

Une combinaison fondée sur ce principe dessert la distribution des pompes à vapeur de la maison Stapfer de Duclos et Cie; seulement les taquets sont supprimés, et la distribution auxiliaire est effectuée par le piston lui-même, qui, dans son mouvement, découvre successivement deux orifices percés dans la paroi du cylindre près des fonds. Tout le système est fort ingénieusement agencé. Il ressemble d'ailleurs par plus d'un point aux pompes à vapeur exposées par l'importante maison Tangye frères, de Birmingham.

Les pompes à incendie à vapeur de Merryweather et ses fils, de Londres, ont une distribution analogue; mais au lieu d'être montées sur la tige du piston, les touches commandant la distribution auxiliaire sont montées sur un arbre qui, par une transmission hélicoïdale, reçoit de la crosse du piston un mouvement de rotation alternatif autour de son axe.

Citons encore, parmi les petites pompes à vapeur sans volant, celles exposées par M. Northey, du Canada, par Tyler (Hayward) et Cie, de Londres, etc.

Nous arrivons à une exposition fort importante et fort remarquable. La maison Hathorn, Davis et Davey, de Leeds, s'est fait

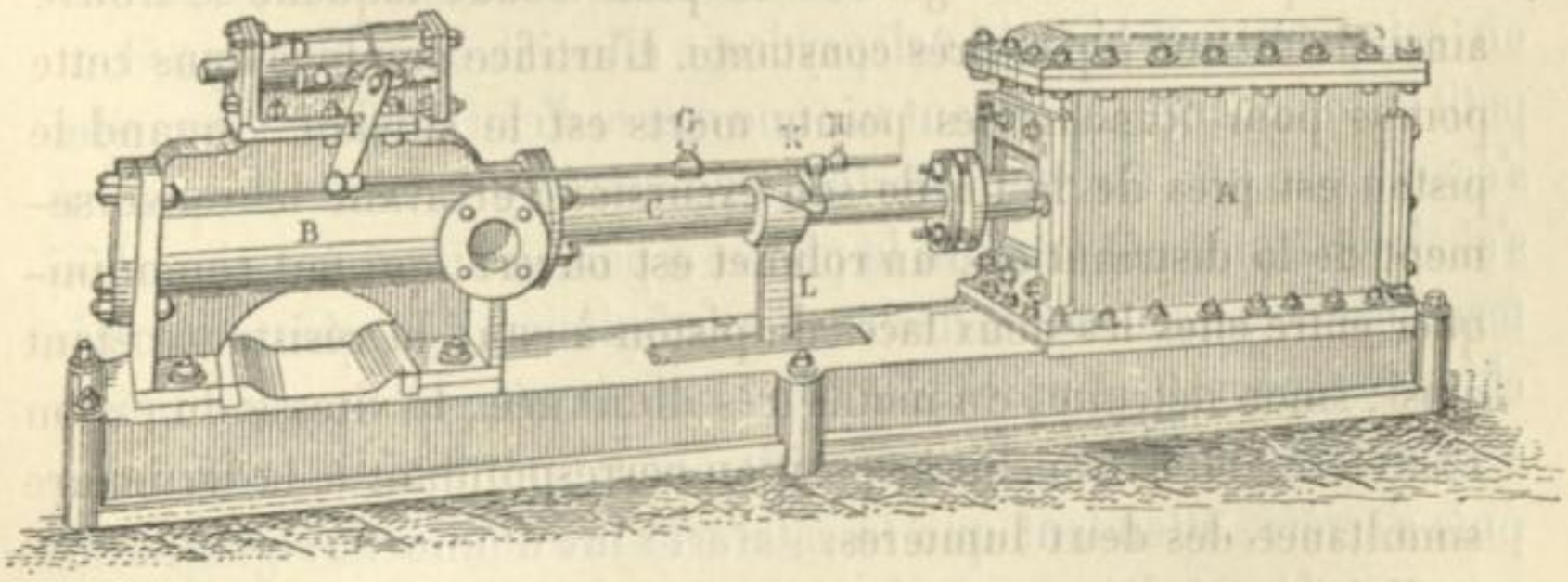


Fig. 28. — Machine à vapeur de Hathorn, Davis et Davey.

une spécialité de la construction des pompes à vapeur sans volant,

Gr. VI. — Cl. 54.

et en expose divers modèles de toutes les dimensions, étudiés avec une entente et un soin exceptionnels.

Voici d'abord (fig. 28) une pompe à vapeur de dimensions relativement restreintes, pour les petits épuisements : la pompe est en A, le cylindre à vapeur en B, la tige C du piston à vapeur est d'un fort diamètre, et la partie droite du cylindre est en communication permanente avec la vapeur, qui exerce ainsi sa pression sur la surface annulaire du piston, comprise entre le cylindre et la tige C; la partie gauche du cylindre est mise en relation avec une distribution placée en D; celle-ci est manœuvrée par une distribution auxiliaire, qui consiste en un simple robinet commandé par le levier F; l'anneau K vient successivement en contact avec les taquets G et H pour changer le sens de la distribution auxiliaire; la queue L sert de guide; les taquets G et H peuvent se déplacer, ce qui permet d'augmenter ou de réduire à volonté la course.

Jusqu'ici rien de bien particulier, c'est la pompe à vapeur sans volant, à quelques détails accessoires près.

Mais à ce système, simple et d'un jeu un peu brutal, M. Davey a ajouté des perfectionnements ingénieux et merveilleusement entendus, qui en font un outil aussi puissant que docile, s'adaptant parfaitement aux grands épuisements. En premier lieu, pour régler la vitesse de la machine, M. Davey a eu l'idée d'appliquer la *cataracte*, si en usage pour gouverner la distribution des machines de Cornouailles. La cataracte, comme on sait, est une véritable clepsydre : elle est constituée par un petit piston chargé, appuyant sur une masse d'eau confinée, laquelle s'écoule par une étroite ouverture, de manière à laisser le piston s'abaisser lentement; quand le piston a parcouru une fraction déterminée de sa course, il déclenche l'admission de vapeur, la machine à vapeur part immédiatement, en ramenant le petit piston à sa position initiale; elle parcourt ainsi une double excursion, puis s'arrête, attendant que la cataracte lui donne le signal d'un nouveau départ. De sorte qu'en ouvrant plus ou moins le robinet qui modère la descente du petit piston, le mécanicien peut régler avec la plus parfaite précision le nombre de révolutions par mi-

nute, et l'accommoder à l'importance variable des épuisements à effectuer.

M. Davey s'est emparé de la cataracte, et l'a appliquée à ses pompes, mais en modifiant de la manière la plus heureuse la transmission de la cataracte au distributeur de vapeur. Dans les pompes dont il s'agit, la cataracte n'agit pas par un déclenchement, mais la machine à vapeur est transformée en un *servo-moteur* (voir ci-dessous), dont la cataracte tient la rêne, de telle sorte que le piston de la grande machine suit exactement tous les mouvements du piston de la cataracte.

La figure 29 représente ce dispositif remarquable :

A est le cylindre à vapeur à double effet; BB sont les deux corps de pompe à piston plongeur, actionnés directement par la tige du piston à vapeur; C est la boîte de distribution; D est la cataracte, composée d'un cylindre plein d'eau, parcouru par un piston, et dont les deux fonds sont réunis par un tuyau, plus ou moins étranglé par un robinet, dont on voit sur la figure le petit volant de manœuvre; E est le petit cylindre à vapeur, muni d'une distribution auxiliaire commandée par le levier EF et la tringle OF; les deux pistons E et D sont montés sur une même tige, qui attaque en H le levier KL; celui-ci commande, par la bielle et par la tige KN, la distribution principale C, et sa situation résulte de celle des deux points H et L; le point H est, comme on l'a vu, relié aux pistons D et E, et le point L est relié à la tige du grand piston par la bielle LM et la potence MQ.

Supposons actuellement que la situation de l'appareil soit la suivante : le tiroir C dans sa position moyenne, fermant à la fois les deux lumières, et la distribution auxiliaire E disposée de manière à solliciter la cataracte dans la direction de la flèche. Dans cette situation, le grand piston A sera immobile; sous l'action du piston E la cataracte va marcher lentement, par conséquent le point K se déplacera vers la gauche; par suite, l'admission en C sera ouverte, et le grand piston A se mettra en mouvement; toutefois sa vitesse sera faible, sinon, le point L étant trop vite entraîné vers la gauche, le point K serait repoussé vers la droite, l'admission fermée et le piston A arrêté.

On voit que la vitesse du piston A sera réglée par celle de la cataracte, de telle sorte que le point K reste fixe, dans la situation qui correspond à une faible ouverture de l'admission. Quand le piston A sera près de l'extrémité de sa course, la touche O, portée par le levier KL, viendra en contact avec le taquet P′, fixé sur la tringle GF; la distribution auxiliaire E sera renversée, le mouvement rétrograde de la cataracte commencera, entraînant à sa suite celui du piston A.

La manœuvre de cet appareil se fait avec une précision merveilleuse; en tournant au volant D, on peut à volonté donner à la machine une allure précipitée, ou la ralentir jusqu'à l'arrêter complètement; la docilité est parfaite.

La maison Hathorn, Davis et Davey a construit plusieurs machines élévatoires d'une grande puissance, gouvernées par des organismes analogues à ceux que nous venons de décrire. Toutefois, dans le cas de fortes machines, notamment si les pompes sont à une grande profondeur, comme pour les épuisements des mines, on retombe dans les conditions ordinaires des machines de Cornouailles, c'est-à-dire que les masses mises en action prennent une importance considérable; le piston ne s'arrête pas dès que l'arrivée de vapeur est fermée, mais le mouvement se continue en vertu de la vitesse acquise et de la pression de la vapeur agissant par détente; et c'est précisément dans ces puissants appareils, alors que l'économie du combustible est une question de premier ordre, qu'une large détente devient à son tour une nécessité.

Il est facile de voir que, dans ces circonstances, la commande de la distribution par servo-moteur et cataracte aura pour effet de faire varier la détente; mais, ce qui est digne de remarque, la détente variera automatiquement, et se réglera d'elle-même sur les variations de la résistance à surmonter.

En effet, la position du tiroir dépend de celle des points H et L, c'est-à-dire des positions relatives du grand piston et de la cataracte; dès que le grand piston prend de l'avance sur la cataracte, l'admission de vapeur se ferme.

Supposons le grand piston A à fond de course à gauche du cylindre, et la cataracte dans la même situation; la touche O vient

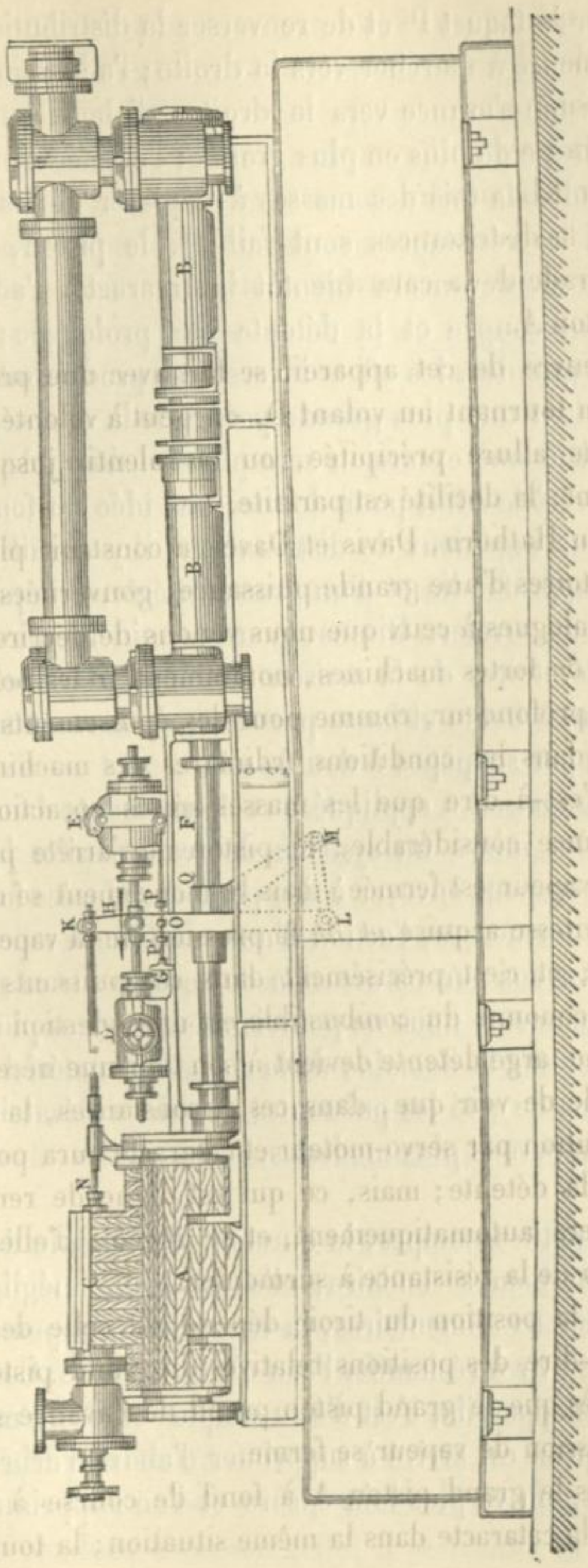


Fig. 96. — Pompe à vapeur à cataracte de Halhorn, Davis et Davey.

de déplacer le taquet P′ et de renverser la distribution E, la cataracte commence à marcher vers la droite; l'admission s'ouvre, et le grand piston s'avance vers la droite, d'abord lentement, puis avec une vitesse de plus en plus grande; l'accélération de cette vitesse dépend à la fois des masses à déplacer et des résistances à vaincre; si les résistances sont faibles, le piston, prenant une grande vitesse, devancera bientôt la cataracte, l'admission sera promptement coupée et la détente très prolongée; si les résistances sont grandes, les effets inverses se produiront, l'admission se fera pendant une plus grande partie de la course, et le travail développé dans une excursion sera plus considérable.

Ce qui précède suffit pour donner une idée du fonctionnement de ce système ingénieux de distribution; il y aurait là matière à une étude approfondie et d'un grand intérêt, à laquelle nous ne pouvons nous arrêter. Disons, pour terminer, que les grandes machines élévatoires de la maison Hathorn, Davis et Davey sont généralement à haute et basse pression, et souvent munies d'une distribution par soupapes à double siège.

La même maison a appliqué aux épuisements dans les parties profondes des mines un système de transmission hydraulique, avec lequel on peut envoyer à des pompes, placées fort loin dans des galeries tortueuses, l'action d'une machine à vapeur disposée à la surface. Nous aurons occasion de revenir sur ce sujet.

Pour le moment, nous ne pourrions entrer dans plus de détails sans empiéter sur le domaine de la classe du matériel des mines. Laissons donc de côté les puissantes machines élévatoires et revenons à des appareils plus modestes.

Dans les petites pompes, la question d'économie de vapeur est généralement bien secondaire; elle est même négligeable pour les petits chevaux alimentaires, la vapeur d'échappement pouvant d'ordinaire servir à réchauffer l'eau d'alimentation. Ce que l'on demande à ces appareils, c'est d'être simples et d'une marche sûre; c'est ainsi qu'on est arrivé à supprimer d'abord l'arbre de couche et le volant; on va plus loin encore et l'on supprime même les pistons.

C'est cette simplification extrême, cette absence de tout organe mobile, pouvant s'altérer ou cesser de fonctionner, qui a fait le succès immense et si légitime des injecteurs Giffard, pour l'alimentation des chaudières. Nous avons également eu occasion de parler d'appareils de toute autre nature, les bouteilles alimentaires, qui sont de véritables pompes à vapeur.

C'est, comme on l'a vu, sous la forme de pompe à vapeur sans piston que la machine à vapeur a fait ses premiers débuts dans l'industrie. Eh bien, la machine Savery vient de se réveiller d'un sommeil de près de deux siècles; sa réapparition l'a montrée pour ainsi dire telle qu'elle était dans l'origine, sauf un léger perfectionnement qui lui a procuré un succès considérable.

Cette nouvelle forme de la machine de Savery, c'est le *pulsomètre*, de l'ingénieur américain Henry Hall, et le perfectionnement qu'il a apporté, c'est la distribution automatique, obtenue par un simple clapet.

Le pulsomètre, qui a été breveté en 1872, se compose (fig. 30) d'un réceptacle en fonte, affectant extérieurement la forme d'une paire de grosses poires, et partagé intérieurement en deux chambres M et N par une cloison diamétrale. La partie supérieure est reliée avec un générateur par un tube, qui amène la vapeur dans une petite chapelle C, où une soupape S, formée d'un boulet à deux sièges, fonctionne comme tiroir de distribution. A la partie inférieure s'adapte le tuyau d'aspiration A, qui communique alternativement, par deux clapets *i*, *i'*, avec chacune des deux chambres; celles-ci communiquent également, par deux autres soupapes K et K', avec le tuyau de refoulement, placé en arrière de la figure.

Voici maintenant comment fonctionne cet appareil : supposons que, la pompe étant amorcée, la chambre N soit remplie d'eau, et que l'orifice d'admission O' soit ouvert; la vapeur, arrivant à haute pression dans la chapelle C, s'introduit dans la chambre N, y comprime et refoule l'eau, dont le niveau s'abaisse, et qui pénètre dans la conduite élévatoire; au moment où le niveau de l'eau arrive en K', la vapeur se dégage brusquement dans la conduite ascensionnelle; il en résulte un soubresaut

Gr. VI. — Cl. 54.

qui mélange l'eau et la vapeur, détermine une condensation rapide, et ramène le boulet S du siège O sur le siège O'. Dès lors la vapeur cesse d'agir en N, et pénètre dans la chambre M, d'où

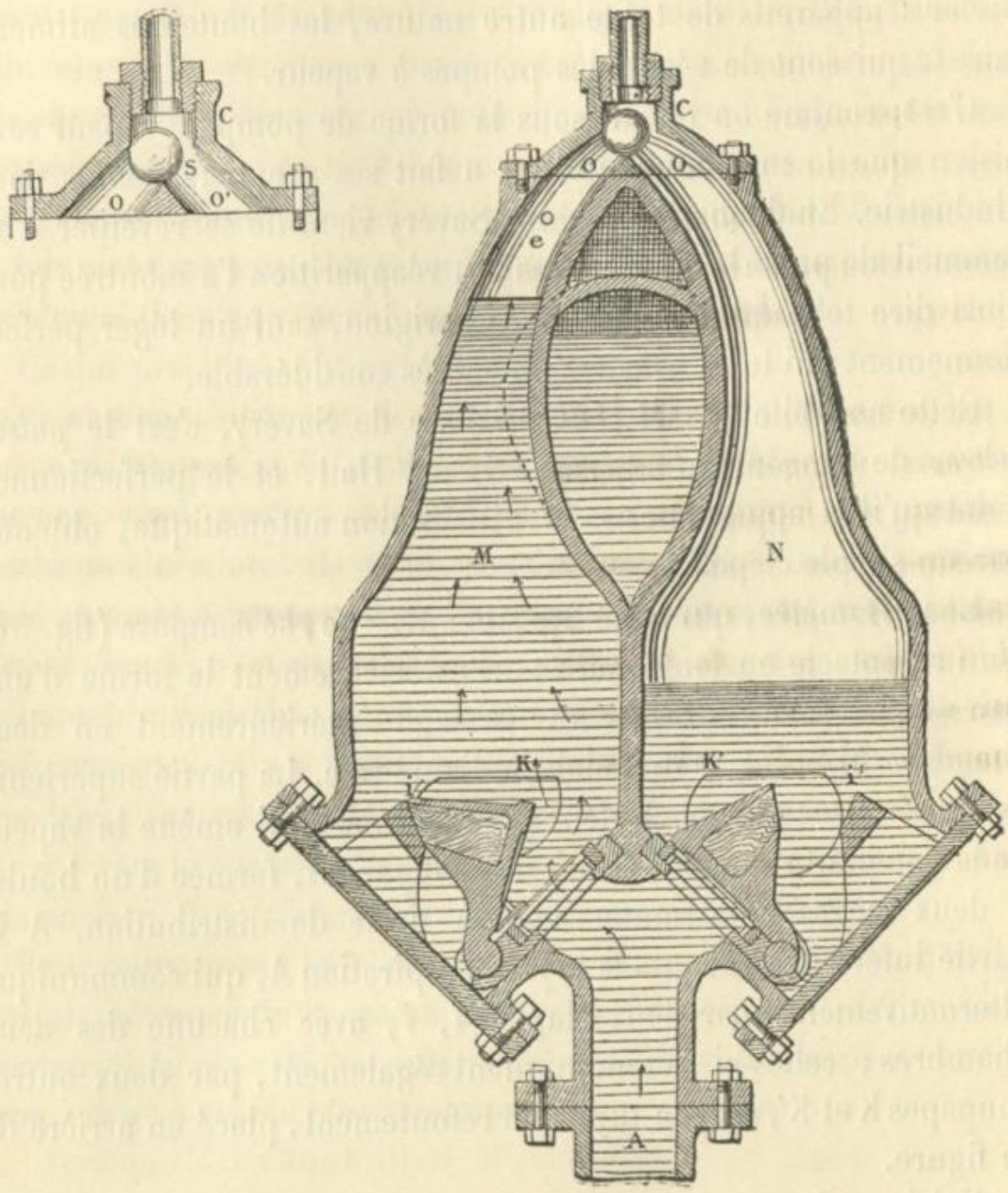


Fig. 30. — Pulsomètre de Hall.

elle refoule l'eau comme précédemment. En même temps la vapeur contenue dans la chambre N achève de se condenser; il se produit donc une aspiration sur l'eau du tuyau A, la soupape *i'* est soulevée, et l'eau remplit la chambre N. Ainsi, par suite du jeu automatique de la soupape d'admission S, les deux chambres M et N

jouent alternativement le rôle de chambre d'aspiration et de chambre de refoulement, à chaque pulsation de la vapeur.

Il ne faut pas chercher, dans un outil de cette nature, l'économie de vapeur; ce ne serait d'ailleurs qu'une qualité accessoire; toutefois un dispositif fort ingénieux a permis de réduire notablement la consommation; on voit en *e* et *e'* deux petits évents; ils sont fermés par de très petites soupapes, qui s'ouvrent à l'aspiration, en laissant entrer une petite quantité d'air; cet air, mélangé à la vapeur, suffit pour atténuer beaucoup les condensations au contact des parois froides; de plus, il est envoyé avec l'eau dans le réservoir de refoulement, où il forme matelas pour atténuer les chocs.

Le pulsomètre de M. Hall est exposé par deux maisons : la *Pulsometer engineering Company*, de Londres, et la Société de construction des Batignolles; c'est une machine remarquable par sa puissance, son faible volume et la simplicité de son fonctionnement. Elle peut s'installer partout, et n'importe comment, sur un chevalet, sur une brouette, suspendue au bout d'une chaîne dans un puits, et se transporter avec une grande facilité; comme pompe à incendie, elle donne un jet régulier et vigoureux. Le pulsomètre peut être utilisé comme pompe alimentaire, s'il est placé au-dessus du générateur à desservir.

Un exposant algérien, M. Bretonnière, de Philippeville, a présenté au jury un appareil du même genre, pour lequel il a pris un brevet et qu'il nomme le *pulsateur* (fig. 31).

Le principe du pulsateur Bretonnière est le même, à très peu près, que celui du pulsomètre de Hall. Toutefois l'appareil de M. Bretonnière, bien que fort ingénieux, est d'une conception moins hardie que celui de Hall. Ici la vapeur n'agit plus directement sur le liquide pendant la période de refoulement. Un large diaphragme flexible en tissu de caoutchouc *ab*, monté sur une couronne métallique, sépare la chambre dans laquelle agit la vapeur de celle où se font alternativement l'aspiration et le refoulement du liquide à élever; ce diaphragme, en s'élevant par l'effet de la pression de la vapeur, refoule l'eau comme le ferait un piston; dès

que la vapeur qui agissait sur sa surface inférieure se condense, le diaphragme s'abaisse et produit l'aspiration. M. Bretonnière affirme que cette disposition présente l'avantage de ne point mêler la vapeur à l'eau, et donne lieu à une économie de com-

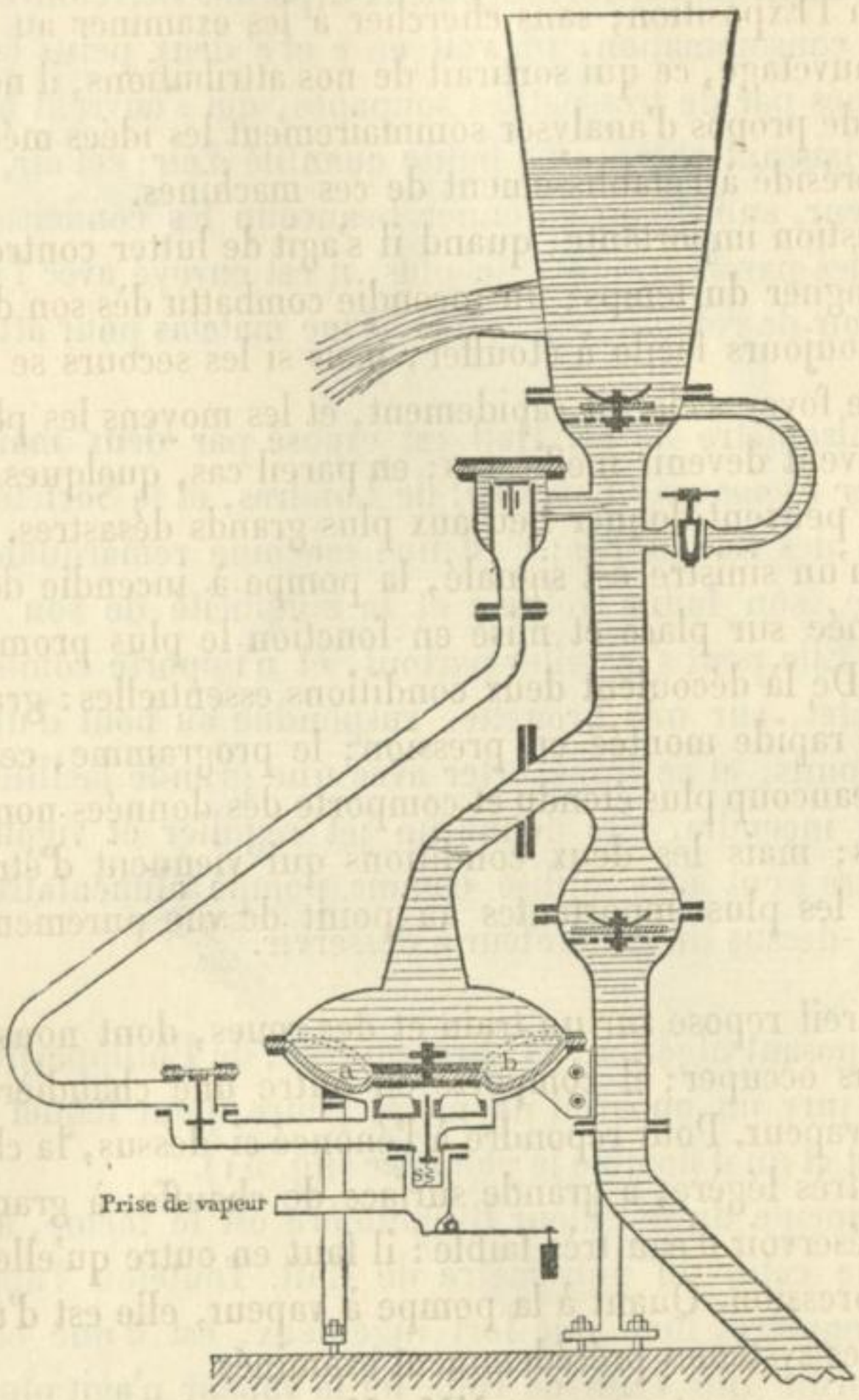


Fig. 31. — Pulsateur de Bretonnière.

bustible en diminuant les pertes de chaleur. Des expériences comparatives très suivies permettraient seules de vérifier l'exactitude de cette assertion.

Après avoir parlé des pompes à vapeur, il serait peut-être à pro-

pos d'examiner les appareils dans lesquels pompe, machine à vapeur et chaudière forment un tout indécomposable. Mais jusqu'ici les seules applications pratiques que l'on ait faites de pareils ensembles sont les pompes à incendie à vapeur. Il y en avait un grand nombre à l'Exposition; sans chercher à les examiner au point de vue du sauvetage, ce qui sortirait de nos attributions, il ne semble pas hors de propos d'analyser sommairement les idées mécaniques qui ont présidé à l'établissement de ces machines.

La question importante, quand il s'agit de lutter contre le feu, c'est de gagner du temps; un incendie combattu dès son début est presque toujours facile à étouffer; mais si les secours se font attendre, le foyer s'élargit rapidement, et les moyens les plus puissants peuvent devenir inefficaces; en pareil cas, quelques minutes de retard peuvent donner lieu aux plus grands désastres.

Dès qu'un sinistre est signalé, la pompe à incendie doit donc être amenée sur place et mise en fonction le plus promptement possible. De là découlent deux conditions essentielles: grande légèreté et rapide montée en pression; le programme, cela va de soi, est beaucoup plus étendu et comporte des données nombreuses et variées; mais les deux conditions qui viennent d'être énoncées sont les plus importantes au point de vue purement mécanique.

L'appareil repose sur un train et des roues, dont nous n'avons pas à nous occuper; il comporte en outre une chaudière et une pompe à vapeur. Pour répondre à l'énoncé ci-dessus, la chaudière doit être très légère, à grande surface de chauffe, à grand foyer, avec un réservoir d'eau très faible : il faut en outre qu'elle marche à haute pression. Quant à la pompe à vapeur, elle est d'un quelconque des systèmes précédemment examinés.

La pompe construite par MM. Merryweather et ses fils, de Londres, se compose d'une chaudière Field et d'une pompe à vapeur sans volant, dont nous avons déjà parlé. Celle exposée par MM. Shand, Mason et Cie, de Londres, a une chaudière verticale, dont le foyer est traversé dans tous les sens par un grand nombre de petits tubes; la pompe à vapeur est à arbre de couche avec volant pour les petits modèles; pour les grands modèles, elle com-

Gr. VI. — Cl. 54.

porte trois cylindres, actionnant chacun une pompe à plongeur, et attelés sur un arbre de couche à trois vilebrequins à 120 degrés.

La pompe Thirion comporte une chaudière genre Field et deux machines horizontales, agissant chacune sur une pompe à double effet, avec arbre à deux coudes et petit volant.

Si la pompe sans volant semble moins lourde et plus simple comme mécanisme, la pompe avec arbre de couche offre cet avantage de pouvoir marcher avec détente, c'est-à-dire dans de meilleures conditions comme économie de vapeur; or, une machine plus économique entraîne une chaudière plus petite, par conséquent plus légère et montant plus rapidement en pression.

Tous ces engins travaillent à haute pression; ils sont fort légers, eu égard à leur puissance, solidement établis, bien construits, et ont fait leurs preuves en service. Aujourd'hui, on trouve dans presque toutes les grandes villes des pompes à vapeur tenues toujours en état et prêtes à fonctionner à la première alerte ; leur puissance et leur utilité se sont manifestées en mainte occasion, et la sécurité qu'elles apportent est vivement appréciée.

Nous allons maintenant passer rapidement en revue quelques moteurs de dispositions particulières, comportant des organes différant de ceux que nous avons vus en usage jusqu'ici; nous voulons parler des moteurs à grande vitesse et des machines rotatives.

La question qui nous occupe est loin d'être nouvelle; on peut même dire qu'elle s'est présentée d'elle-même le jour où il s'est agi d'imprimer, par l'action de la vapeur, un mouvement de rotation continue à un arbre de couche.

Dès l'année 1769, James Watt proposait une machine rotative constituée par *un récipient en forme d'anneau creux ou canal circulaire,* autrement dit un tore creux, dans lequel devaient circuler des pistons, fixés à un arbre de couche disposé suivant l'axe du tore.

Rappelons les machines rotatives de Lamb, de Napier, de Ramelli, la machine à disque de Davies, et enfin la rotative de Behrens, qui eut un grand succès à l'Exposition de 1867, et qui est encore en usage, comme petit cheval alimentaire, pour les chaudières marines.

Cette recherche présente en effet quelque chose de séduisant. Dans une machine à vapeur ordinaire, les organes essentiels, piston et cylindre, ne paraissent pas tenir un volume qui soit en harmonie avec l'importance de leur rôle : c'est la transmission, tiges, bielles, manivelles, balanciers, bâti, qui occupe le plus de place, et aussi qui coûte le plus cher. Dans la machine rotative au contraire, l'organe pressé par la vapeur prend un mouvement de rotation, et le transmet sans intermédiaire à l'arbre de couche. Et cette simplification semblait d'autant plus avantageuse que, dans les frottements réciproques des organes de la transmission, on croyait perdre, et l'on perdait souvent une part notable du travail de la vapeur.

Depuis que la machine à vapeur est devenue un outil vulgaire, qu'on a pu appliquer à l'étude de son fonctionnement des procédés d'expérience précis, que d'ailleurs l'ajustage des pièces s'est fait avec une perfection plus grande, on s'est aperçu que les pertes dues aux frottements n'ont pas, à beaucoup près, une valeur aussi considérable, de sorte qu'à ce point de vue, il n'y a pas à gagner beaucoup en simplifiant la transmission.

D'autre part, dans toutes les machines rotatives, souvent fort ingénieuses et très bien entendues d'ailleurs, on s'est heurté jusqu'ici à un obstacle d'une autre nature, nous voulons dire la difficulté de tenir étanche le joint de vapeur entre les parties fixes et les parties mobiles ; ce joint se fait aujourd'hui simplement et sûrement quand il s'agit d'un cylindre creux et d'un piston circulaire ; il en est tout autrement, et il devient fort difficile d'éviter les fuites, lorsque les surfaces frottantes ont des formes compliquées, surtout s'il y a des angles saillants ou rentrants ; alors les procédés usités ne donnent plus que des résultats très imparfaits, et occasionnent le plus souvent des frottements bien plus considérables que ceux que l'on cherche à éviter en supprimant la transmission.

Telles sont les principales raisons qui ont fait échouer jusqu'à présent à peu près toutes les machines rotatives. Aussi, d'exposition en exposition, les machines de cette espèce deviennent-elles de plus en plus rares ; et en 1878 on n'en voit plus apparaître qu'un petit nombre de spécimens.

Ce n'est pas que, considérée sous d'autres aspects que celui de

Gr. VI. — Cl. 54.

l'économie de vapeur, la question soit dépourvue d'intérêt. Il serait souvent fort utile, même au prix d'une dépense un peu forte de vapeur, de pouvoir commander directement, sans courroies ni engrenages, les outils à rotation rapide, pompes centrifuges, ventilateurs, scies circulaires, essoreuses, etc. L'Exposition présente un certain nombre de ces outils, actionnés de cette manière par de petites machines à vapeur de formes ordinaires, et auxquelles, grâce à quelques précautions particulières, notamment en ce qui concerne la répartition des masses en mouvement et les dimensions des lumières, on peut imprimer des vitesses de 500 à 1,000 tours par minute et même plus; on peut citer à cet égard les pompes centrifuges de MM. H. Gwynne et Cie, Dumont et Cie, etc., les essoreuses de MM. Buffault frères, les ventilateurs des bateaux porte-torpilles des Forges et Chantiers, etc. etc. Mais il est hors de doute qu'un moteur se prête bien mieux à une grande vitesse, lorsque tous ses organes ont un mouvement de rotation continu, que lorsque les plus importants d'entre eux ont des mouvements alternatifs. Il faut remarquer d'ailleurs que la grande vitesse des pistons est de nature à atténuer dans une large mesure les inconvénients des fuites, dont l'importance relative diminue quand augmente le volume de vapeur utilement dépensé.

On voit par ce qui précède que, pour le moment du moins, la machine rotative doit être réservée aux cas où la vitesse de rotation est très grande, et où l'on n'a pas à compter avec la dépense de vapeur. Mais alors, et par le fait même de la vitesse et du peu d'étendue des organes, elle présente l'avantage, souvent fort important, de développer une grande puissance sous un très faible volume.

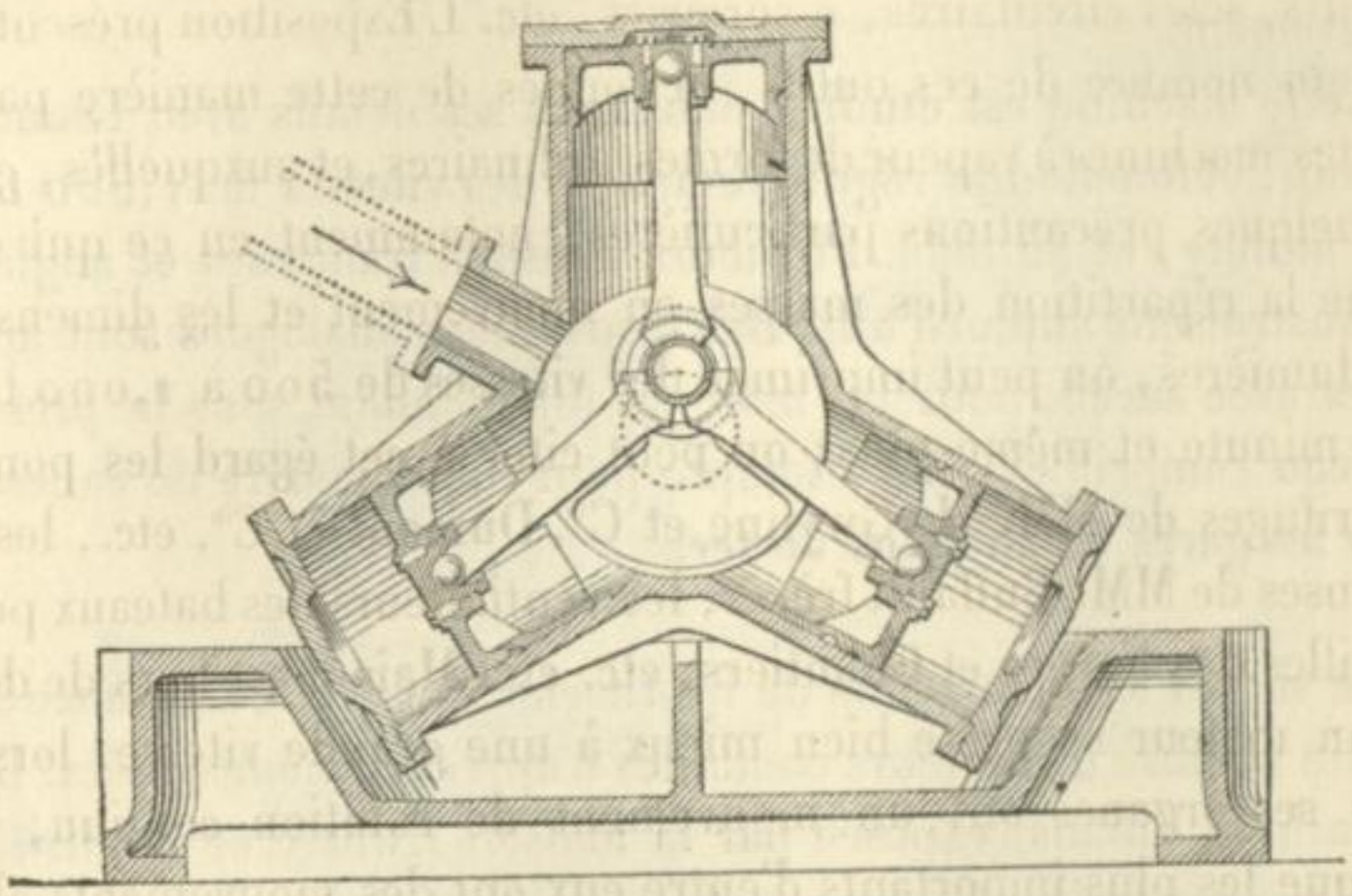
Ces principes sont généralement compris aujourd'hui. Nous allons voir par quelques exemples comment ils sont appliqués.

Parlons d'abord des machines à grande vitesse qui conservent, comme organe recevant directement l'action de la vapeur, le piston et le cylindre des machines ordinaires.

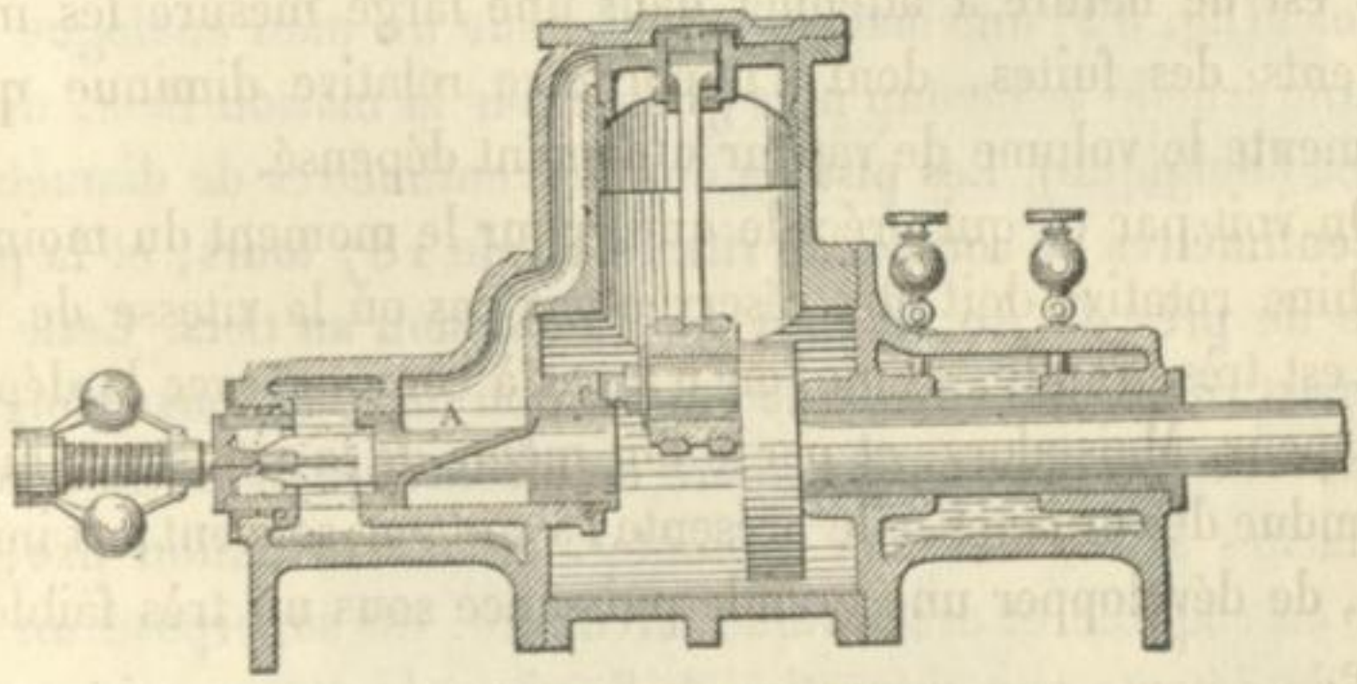
Il faut citer en tête la machine à trois cylindres de Brotherhood, qui a servi de prototype à un grand nombre de dispositifs variés.

Elle se compose, comme le montre la figure 32, de trois cylindres normaux à l'arbre de couche, et faisant entre eux des

Fig. 32. — Machine à trois cylindres de Brotherhood.



Coupe transversale.



Coupe longitudinale.

angles égaux; les trois pistons sont à simple effet, et agissent directement par des bielles sur une seule manivelle. La distribution de vapeur est faite par un robinet A, placé sur le prolongement de l'arbre de couche, et animé comme lui d'un mouvement de rotation continu. Les trois bielles agissant toujours par pression, les inconvénients résultant du jeu des organes dans une machine rapide sont fort atténués. La machine n'a pas de point mort, et le départ

Gr. VI. — Cl. 54.

se fait dès qu'on ouvre l'arrivée de vapeur, quelle que soit la position de la manivelle. L'échappement a lieu par la capacité comprise entre les trois pistons; au moyen de quelques dispositifs fort simples, on arrive à renverser très promptement le sens du mouvement.

Cette machine est étudiée dans tous ses détails avec beaucoup de soin, et fonctionne régulièrement à des vitesses de 1,500 tours à la minute, et au delà. Plusieurs maisons françaises et anglaises la construisent aujourd'hui. Des dispositions analogues sont appliquées avec succès pour les moteurs fonctionnant sous la pression de l'eau comprimée, par exemple pour la manœuvre de cabestans dans les gares de chemins de fer.

Le succès de la machine de Brotherhood a donné naissance à un certain nombre de moteurs combinés d'après les mêmes idées. Dans la machine Villans, exposée par la maison Hunter et English, de Londres, les trois cylindres sont parallèles, placés côte à côte, et agissent sur un arbre à trois vilebrequins calés à 120 degrés.

Voici (fig. 33) une machine établie sur un plan analogue mais sur une échelle beaucoup plus grande par la maison Beer, de Jemeppe (Belgique). Les pistons ont 34 centimètres de diamètre et 30 centimètres de course, la vitesse est de 187 tours, et la puissance de près de 40 chevaux avec admission au tiers. Cette machine est construite en vue de l'expédition dans des pays éloignés; elle se compose d'un petit nombre de pièces d'un poids modéré, et très faciles à assembler et à monter. A la distribution fixe, par tiroir en coquille et excentrique circulaire, est superposé un système de détente par obturation de l'arrivée de vapeur, obtenue au moyen d'un tiroir tournant, dont l'orientation, pour une position déterminée du piston, varie avec la position des boules du régulateur. L'ensemble est très compact et occupe peu de place, la construction est fort bien traitée.

Il faut remarquer que dans cette machine les parois du cylindre sont alternativement en contact avec la vapeur à haute pression et avec l'air extérieur; il y a là une cause de refroidissement et de condensation, qui est de nature à accroître la dépense de va-

peur; c'est précisément pour éviter ce grave inconvénient que Watt avait imaginé, pour ses machines à simple effet, de faire passer la vapeur au-dessus du cylindre, et ce perfectionnement est, à juste

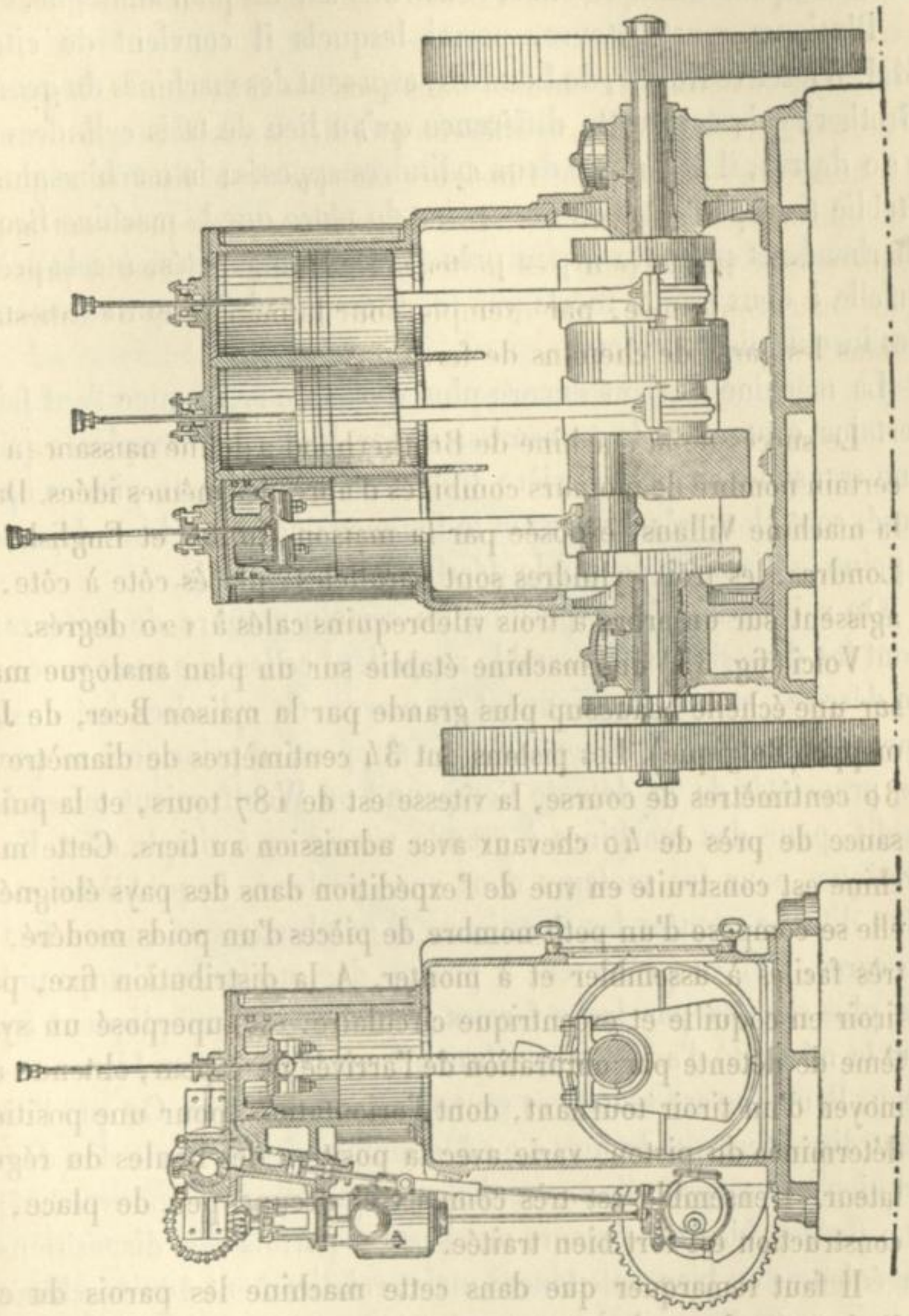


Fig. 33. — Machine à trois cylindres à simple effet de Charles Beer.

titre, considéré comme un des plus remarquables de ceux que l'on doit à l'illustre ingénieur.

Gr. VI. — Cl. 54.

Dans la machine de la maison Beer, les pistons ont une grande longueur, ce qui atténue dans une certaine mesure ce défaut; mais on le voit apparaître avec toute sa gravité dans d'autres moteurs à vapeur à simple effet, construits sur un plan analogue.

Plusieurs constructeurs, parmi lesquels il convient de citer MM. Wigzell et Halsey, de Londres, exposent des machines du genre Brotherhood, avec cette différence qu'au lieu de trois cylindres à 120 degrés, il n'y a que deux cylindres opposés; la machine ainsi établie tient peut-être encore moins de place que la machine Brotherhood, et présente à peu près les mêmes qualités, à cela près qu'elle a deux points morts par tour, ce qui n'offre que rarement des inconvénients sérieux.

La machine devient encore plus ramassée si, comme l'ont fait certains exposants, la transmission par bielle est remplacée par une transmission par glissière transversale: les deux pistons opposés sont alors très voisins, et la longueur de la machine dépasse à peine le diamètre du cercle décrit par la manivelle.

On voit figurer à l'Exposition un certain nombre de moteurs, dont les dispositions d'ensemble rappellent celles que nous venons de décrire, et qui fonctionnent au moyen de cylindres inégaux, par haute et basse pression. Rien ne s'oppose en principe à ce que les propriétés de la détente Compound ou Woolf soient mises à profit, pour des machines à grande vitesse ou à simple effet. En pratique, pour les moteurs dont nous parlons, le problème est plus difficile; toutes les questions, si nombreuses et encore fort obscures, qui se présentent à propos des machines Compound les plus simples par leurs formes générales, se compliquent ici par la nécessité d'adapter la solution à un type encore bien nouveau. Peut-être ces tentatives sont-elles prématurées. Ce que l'on peut dire, c'est que le jury a eu à examiner des dessins, des descriptions, des appareils construits, quelques-uns en mouvement; il a pu voir bien des erreurs manifestes, parfois des dispositions ingénieuses ou bien entendues; mais, relativement aux machines que nous étudions, il n'a eu sous les yeux aucune constatation authentique, permettant d'apprécier à leur vraie valeur les perfectionnements qui lui étaient soumis.

Pour terminer ce sujet, nous mentionnerons la machine de West, combinaison originale de six cylindres rangés en cercle, et dont les pistons s'appuient successivement sur un disque, mobile sur son centre, en imprimant à ce disque un mouvement conique, qui est transformé, par une simple manivelle, en mouvement de rotation d'un arbre de couche; n'oublions pas la curieuse machine de E. Deck, de Bâle, constituée par quatre cylindres à simple effet, tournant autour d'un arbre de couche fixe.

Nous arrivons actuellement aux machines rotatives proprement dites.

La machine rotative (fig. 34) imaginée par M. A.-L. Taverdon, ingénieur aux Charbonnages de Horloz, est l'application fort ingé-

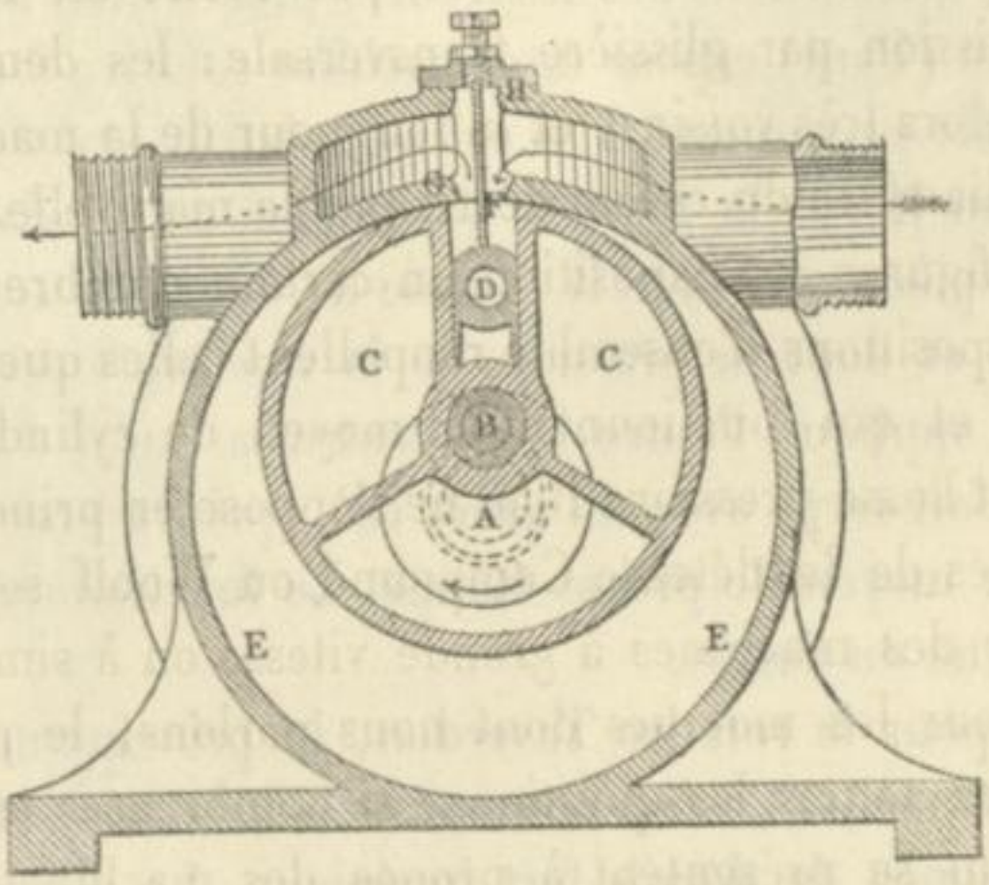


Fig. 34. — Machine à vapeur rotative de Taverdon.

nieuse d'une combinaison cinématique, qui d'ailleurs n'est pas tout à fait nouvelle. L'arbre de couche, dont l'axe est en A, porte une manivelle B, sur laquelle est monté à frottement doux un disque C; l'orientation de ce disque est déterminée par un coulisseau D, oscillant autour de son centre, et glissant dans une rainure pratiquée dans le disque; ce disque se meut à l'intérieur d'un cylindre fixe EE, concentrique à l'arbre de couche. La vapeur arrive par la lumière F et s'échappe par la lumière G. On voit que, le disque

Gr. VI. — Cl. 54.

tournant dans le sens indiqué par la flèche, les deux lumières vont être ouvertes simultanément, le disque restant en contact par une arête avec le cylindre; l'espace compris entre cette arête et la lumière F sera rempli de vapeur à la pression de la chaudière, tandis que le volume compris entre l'arête de contact et la lumière G sera en communication avec l'échappement.

Cette machine a été employée avec succès, paraît-il, pour actionner des pompes centrifuges. On la met aussi en mouvement par l'air comprimé, pour imprimer un mouvement rapide de rotation à des diamants noirs, qui servent à la perforation des roches dans les galeries de mine. Elle présente les inconvénients et les avantages de toutes les machines rotatives, notamment pour ce qui concerne les fuites de vapeur. Mais la combinaison est ingénieuse, et l'agencement des différentes pièces bien réussi.

M. Martin (Paul) expose une machine rotative fort intéressante (fig. 35). Elle se compose d'un cylindre horizontal fixe A, recevant la vapeur en H, et la laissant s'échapper en K; dans l'intérieur tourne une pièce excentrée B, munie de deux ailettes C articulées à un bout, et dont la pression de la vapeur, aidée de la force centrifuge, applique l'autre bout contre la paroi du cylindre A; cette pièce fait corps avec un arbre EE, qui traverse les fonds du cylindre au moyen de presse-étoupe. Le fonctionnement se comprend à la vue du dessin.

Comme pour la rotative Taverdon, le principe de la machine Martin n'est pas tout à fait nouveau; mais la mise en application est accompagnée de détails fort ingénieux. Le conduit d'amenée de vapeur H se bifurque vers les deux fonds et aboutit à deux lumières circulaires, communiquant à deux petits canaux pratiqués sous les ailettes, qui sont ainsi détachées par la vapeur du corps de la pièce B; en faisant suivre par ces deux canaux une partie seulement de la demi-circonférence, on produit une détente plus ou moins prolongée.

Une règle plate D forme joint le long de l'arête séparant l'admission de l'échappement. Le fond G du cylindre est mobile et garni d'étoupe sur son pourtour; il est appliqué par la vapeur même sur la face latérale de la pièce B, de manière à compenser

l'usure. D'autres dispositifs fort bien conçus assurent le graissage, l'étanchéité et le rattrapage du jeu.

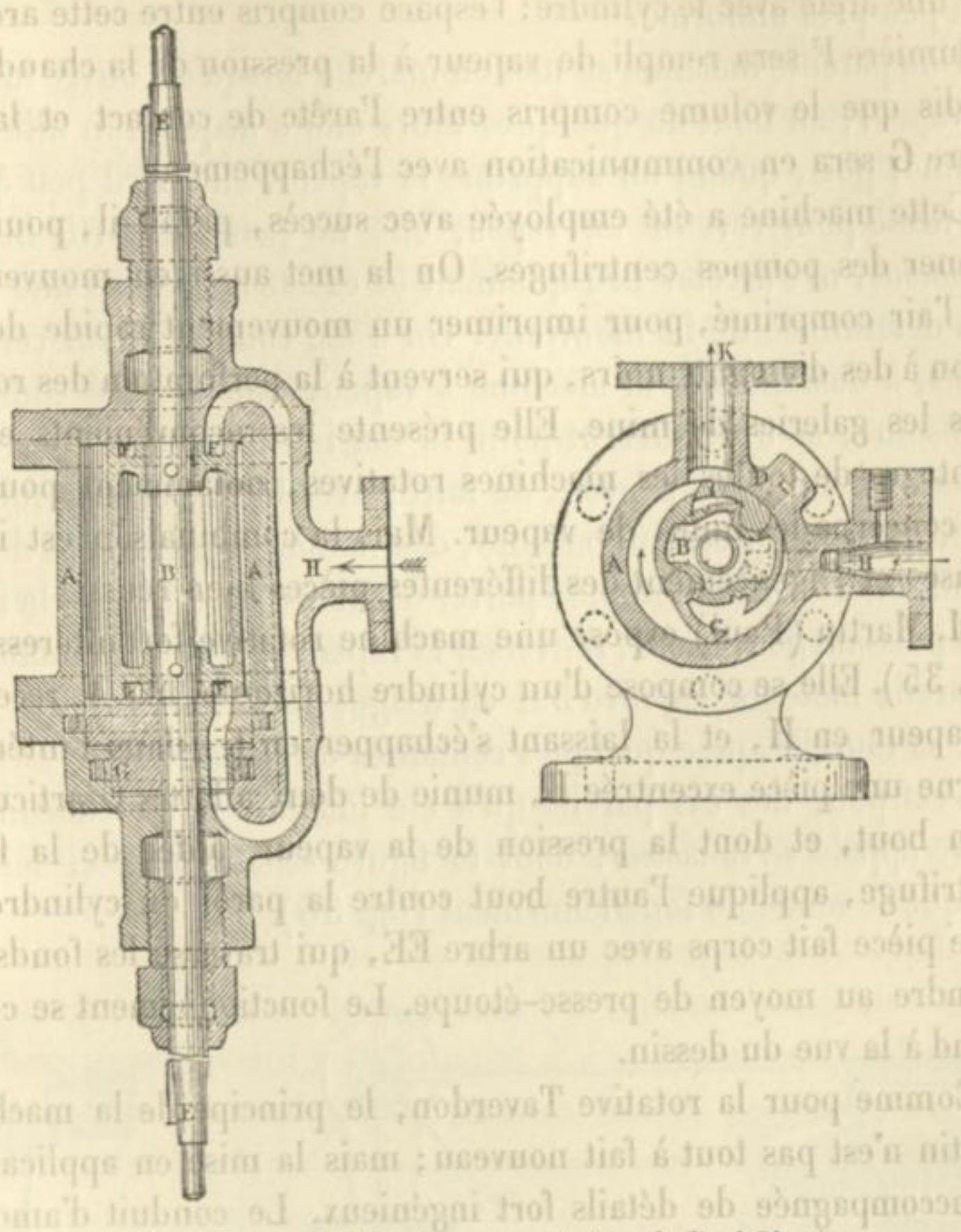


Fig. 35. — Machine à vapeur rotative de Paul Martin.

Cette machine tourne à 1,000 et 1,500 tours; le plus petit modèle atteint même, dit l'auteur, une vitesse de 4,000 tours en marchant à blanc. Le type de 1 à 2 chevaux pèse 40 kilogrammes, celui d'un dixième de cheval pèse 3 kilogrammes et demi.

Malgré la grande dépense de vapeur qu'exige un pareil moteur, il semble cependant que, pour des cas spéciaux, il peut rendre de sérieux services.

Dans la plupart des machines à vapeur que nous avons étu-

Gr. VI. — Cl. 54.

diées jusqu'à présent, l'action de la vapeur a pour résultat d'imprimer à un arbre de couche un mouvement de rotation continu et à peu près uniforme.

Une pareille machine se met en marche lorsqu'on ouvre la prise de vapeur; au bout de quelques tours elle a acquis son allure de régime; puis, quand on supprime la vapeur, elle perd peu à peu sa vitesse pour revenir au repos; elle ne peut ni partir instantanément, ni s'arrêter brusquement et exactement dans une position déterminée de la manivelle. On a été conduit, pour certains objets, à demander à la machine à vapeur une docilité complète et absolue, et c'est surtout pour la marine que la solution était importante : il s'agit souvent de faire, avec beaucoup de promptitude, avec une précision parfaite, des manœuvres exigeant de très grands efforts, par exemple, porter à bâbord ou à tribord la barre d'un puissant gouvernail, renverser la vapeur d'un de ces immenses appareils moteurs aujourd'hui en usage, pointer un canon qui, avec sa tourelle, pèse quelques centaines de tonnes, etc.

C'est pour des cas pareils qu'a été imaginé le système mécanique appelé *servo-moteur,* dont la figure schématique ci-dessous indique le mode de fonctionnement (fig. 36).

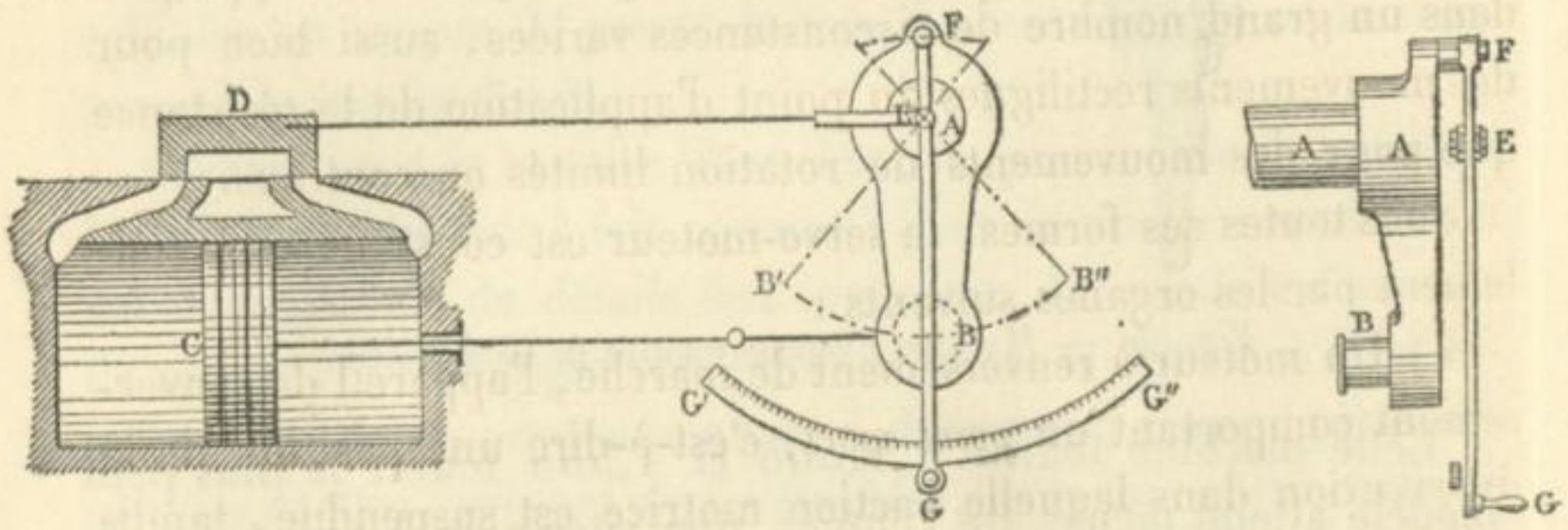


Fig. 36. — Servo-moteur.

L'arbre AA, auquel est appliquée une résistance considérable, est manœuvré par une manivelle AB, attaquée par un piston C, dont l'aire est calculée de manière convenable; cette manivelle doit prendre avec précision une position quelconque, donnée à l'avance dans l'angle B'AB''. A cet effet, on opère la distribution

dans le cylindre C au moyen d'un tiroir D, tel que, dans sa position moyenne, ses barrettes recouvrent exactement les lumières; si donc le tiroir se déplace vers la droite, le piston sera poussé par la vapeur vers la droite; si le tiroir se déplace vers la gauche, le piston sera repoussé vers la gauche. La tige du tiroir s'attache en E sur un levier ou *rêne* FG, articulé à un bout F sur le prolongement de la manivelle, portant à l'autre bout une poignée G; lorsque, comme dans la figure, la rêne FG se projette sur le milieu de la manivelle, les deux lumières d'admission sont fermées; mais si l'on porte la poignée G vers G′, il est clair que le tiroir D sera déplacé vers la gauche, par suite le piston C et la manivelle seront également repoussés vers la gauche, et la manivelle ne pourra rester en équilibre que lorsque le tiroir D sera revenu dans sa position moyenne, c'est-à-dire lorsqu'elle se sera placée vis-à-vis la nouvelle position donnée à la rêne. La manivelle suivra donc docilement tous les déplacements de la poignée G, qui servira à la gouverner, comme si la main du conducteur de l'appareil possédait toute la puissance qui réside dans le piston C.

L'explication qui précède est, bien entendu, purement figurative, et ne sert qu'à expliquer sommairement le jeu de l'appareil dans un cas spécial. Mais les mêmes principes sont appliqués dans un grand nombre de circonstances variées, aussi bien pour des mouvements rectilignes du point d'application de la résistance que pour des mouvements de rotation limités ou continus.

Sous toutes ses formes, le servo-moteur est constitué essentiellement par les organes suivants :

1° Un moteur à renversement de marche, l'appareil de renversement comportant un *point mort,* c'est-à-dire une position de la distribution dans laquelle l'action motrice est suspendue, tandis qu'elle tend à produire le mouvement direct ou rétrograde, suivant que la distribution s'écarte de part ou d'autre du point mort;

2° Des *rênes,* ou organes permettant de modifier à la main la distribution en l'écartant du point mort;

3° Un organe modificateur de la distribution, conduit par le moteur lui-même, et agissant en sens inverse des rênes.

Le moteur marche toujours dans le sens qui lui est indiqué

Gr. VI. — Cl. 54.

par les rênes, et l'équilibre n'est possible que lorsque, par l'effet de ce mouvement, la distribution a été ramenée au point mort, c'est-à-dire pour une position du moteur correspondant à la position donnée aux rênes.

Ce n'est pas à dire que l'appareil, une fois lancé, s'arrêtera court à la position indiquée par les rênes; mais il ne pourra qu'osciller autour de cette position, à laquelle il finira par se fixer.

Les servo-moteurs étaient en petit nombre dans l'exposition des appareils de la mécanique générale. La maison Beer, de Jemeppe, avait armé d'un servo-moteur le changement de marche d'une machine d'extraction de mine.

La maison Farcot et ses fils a créé un grand nombre de modèles, réalisant les principes que nous venons de rappeler; elle en a fait une étude approfondie, variant ses dispositifs, les complétant par des organes nouveaux, et les adaptant avec succès aux conditions les plus diverses; l'habileté et la fécondité de moyens déployées dans ces recherches sont des plus remarquables, et les résultats obtenus merveilleux, surtout dans les applications à la marine de l'État; de son poste et sans se déplacer, le commandant d'un grand navire cuirassé, en manœuvrant quelques poignées placées sous sa main, peut à son gré porter la barre d'un immense gouvernail à bâbord ou à tribord, battre vapeur en avant ou en arrière, modifier à la fois, et avec la plus parfaite précision, la direction et la vitesse de la marche; l'immense instrument de combat est dans sa main comme une épée gigantesque.

Par un sentiment qui sera facilement compris, MM. Farcot n'avaient exposé aucun des appareils commandés par le Ministère de la guerre; dans la classe 54, leur exposition de servo-moteur se bornait à un simple modèle. Mais dans la classe 67 (matériel de la navigation et du sauvetage), soit séparément, soit de concert avec la maison Stapfer de Duclos, ils exposaient un grand nombre d'appareils variés, fondés sur les mêmes principes, et qui, malgré leur destination spéciale, se rattachent de trop près à la mécanique générale pour qu'il ne soit pas à propos d'en faire ici mention.

Dans une des annexes de la berge de la Seine longeant le quai d'Orsay, un appareil curieux attirait l'attention des visiteurs : c'était un treuil en fonte, sur lequel s'enroulait une forte chaîne, portant à son extrémité une charge considérable ; sur l'axe du tambour était montée une petite manivelle ; un homme prenait la manivelle, et en la manœuvrant il faisait tourner le tambour, élevait et abaissait la charge, lentement ou avec promptitude, à son gré et sans le moindre effort, l'arrêtait à une hauteur déterminée, avec la même facilité que s'il eût eu dans la main une puissance de plusieurs chevaux. Ce treuil était mis en mouvement par une machine à vapeur à deux cylindres conjugués, fonctionnant comme servo-moteur, et dont la manivelle était la rêne. Le déplacement de cette manivelle avait pour effet de faire varier le calage des excentriques de distribution, et la machine tendait sans cesse à rattraper ces excentriques, et à ramener la distribution à la position d'admission nulle.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION IV.

RÉGULATEURS ET MODÉRATEURS DE MOUVEMENT.

Sommaire. — Objet de cette section. — Pendule de Watt. — Variétés principales. — Détente variable par le régulateur. — Régulateurs avec surcharge. — Régulateurs de Porter, de Beer. — Régulateurs à bras élastiques de Pickering, de Damey. — De l'isochronisme. — Régulateurs de Foucault, de Farcot, de Tschébycheff, de Büss, de Noël, d'Andrade. — Effets de l'isochronisme complet. — Régulateurs avec frein. — Régulateur Denis. — Régulateur Bodemer. — Régulateur Windsor et Hall. — Régulateurs Larivière, Allen, Deprez, Collin. — Résumé.

Nous examinerons, dans la présente section, les régulateurs dans leur application la plus importante, celle aux machines à vapeur, sans nous interdire néanmoins de mentionner, en passant, les usages divers que peuvent recevoir ces appareils.

A l'Exposition on voyait un nombre considérable de régulateurs, les uns montés sur des machines, d'autres figurant comme objets exposés spéciaux. Les décrire, même partiellement, serait chose aussi fastidieuse qu'inutile. Il y a au contraire un intérêt sérieux à rechercher les idées qui ont généralement cours aujourd'hui sur cette matière assez délicate, et c'est ce côté de la question auquel nous nous attacherons de préférence.

A cet égard, l'aspect des machines exposées était fort curieux; on y voyait une variété infinie de régulateurs, de toutes les formes, de toutes les dispositions; chaque maison a son régulateur préféré, et la multiplicité des solutions essayées est une preuve certaine de l'obscurité qui règne sur les principes: il est évident qu'on est en présence d'un problème dont tous les éléments ne sont pas encore bien définis, et dont l'étude a besoin d'être complétée.

Tout le monde connaît le régulateur à force centrifuge, ou *pendule conique* de Watt; cet organe a été emprunté par le grand ingénieur à l'industrie de la meunerie, et adapté par lui au nouveau moteur qu'il avait créé; cette appropriation nouvelle porte le cachet du génie particulier de Watt, de sa conception vive et pré-

cise des fonctions des organes mécaniques. L'appareil se compose de deux boules pesantes, suspendues symétriquement, par des tiges obliques, à un arbre vertical tournant autour de son axe, d'un mouvement proportionnel à celui de l'arbre de la machine. Suivant la rapidité de ce mouvement, les boules s'écartent plus ou moins l'une de l'autre, par l'effet de la force centrifuge, et ce déplacement est transmis d'abord à un *manchon* ou *douille*, tournant avec l'arbre vertical, puis de là à une valve, disposée sur le parcours de la vapeur; le passage ainsi laissé à la vapeur devient plus étroit quand les boules s'écartent, c'est-à-dire quand le mouvement de la machine s'accélère; il s'élargit quand la machine se ralentit.

Rien n'est plus facile à comprendre que le mode d'action d'un pareil système; pendant longtemps il a été considéré comme répondant à tous les besoins de l'industrie; et en effet, lorsqu'il est bien monté et mis d'accord avec la machine à gouverner, que celle-ci elle-même a les proportions voulues dans ses divers organes, et surtout dans le volant, la régularité obtenue est satisfaisante pour la plupart des usages.

Cependant on a cherché à perfectionner le régulateur de Watt, et les tentatives ont porté dans trois directions principales.

En premier lieu, on s'est efforcé de le rendre plus léger, ou, ce qui revient au même, plus puissant sous un même volume, en lui imprimant une grande vitesse de rotation.

En second lieu, on a cherché à le modifier de manière à rendre l'allure de la machine, non seulement à peu près régulière, mais absolument constante, quelles que fussent les variations des résistances à vaincre.

Enfin, pour éviter les pertes de rendement résultant de l'étranglement produit par la valve de Watt, on a imaginé les divers systèmes de détente variable, commandés par le régulateur.

Nous n'avons pas à revenir sur cette dernière question, qui a été examinée à propos des distributions de vapeur. Rappelons seulement que les opinions sont fort divisées au sujet de l'influence nuisible des étranglements. Bon nombre d'ingénieurs penchent à croire que cette influence, incontestable en elle-même, a cepen-

dant été fort exagérée; qu'elle est moins grande qu'on ne le supposait il y a quelques années, surtout s'il s'agit de machines à condensation, et que, tout bien supputé, et en tenant compte de la complication inhérente à tous les systèmes de détente variable, la valve tournante de Watt, si simple et si légère à conduire, doit être préférée dans un grand nombre de cas. La discussion, comme on le voit, porte sur la quantité plutôt que sur le principe; elle n'avait pas, pour ainsi dire, été soulevée en 1867, et à cette époque on admettait fort généralement que la détente variable par le régulateur offrait, sur la valve agissant par étranglement, des avantages économiques considérables.

Aujourd'hui que l'on possède des moyens de mesurage et d'investigation fort précis, il est à espérer que cette question ne tardera pas à être résolue.

Les tentatives faites pour arriver à une réduction de volume du régulateur par une augmentation de vitesse ont obtenu un véritable succès. Presque toutes les machines exposées étaient munies de régulateurs de petites dimensions et tournant très vite. Le principe est, du reste, à peu près toujours le même; il consiste à surcharger un régulateur de Watt, c'est-à-dire à ajouter à la pesanteur, qui tend à faire baisser les boules, une force supplémentaire, poids ou ressort; c'est souvent une masse pesante appliquée, soit sur le manchon, soit en un point de la transmission du manchon à la valve; pour que dans ces conditions l'équilibre subsiste, il faut naturellement que l'appareil tourne plus vite que lorsqu'il est sans surcharge, l'excédent de force centrifuge, qui résulte de cet accroissement de vitesse, devant compenser la charge supplémentaire qui pèse sur les boules.

Un régulateur avec surcharge est équivalent, comme effet mécanique, à un régulateur sans surcharge tournant moins vite, mais plus grand et plus lourd; il enlève les mêmes charges, il a la même puissance pour surmonter les frottements, mais il a de plus cet avantage pratique d'être moins cher, de tenir moins de place, de s'agencer plus facilement dans le dessin d'une machine.

Le régulateur Porter, en usage déjà depuis plusieurs années, a

été l'un des premiers qui aient mis pratiquement en relief le parti qu'on peut tirer des grandes vitesses. Il a été imité de bien des manières et sous bien des formes. Il est appliqué sur un grand nombre de machines.

Signalons à ce propos la série très complète de régulateurs, fort bien entendus, très simples de construction et vendus à bas prix, établis par la maison Beer, de Jemeppe (Belgique) (fig. 37).

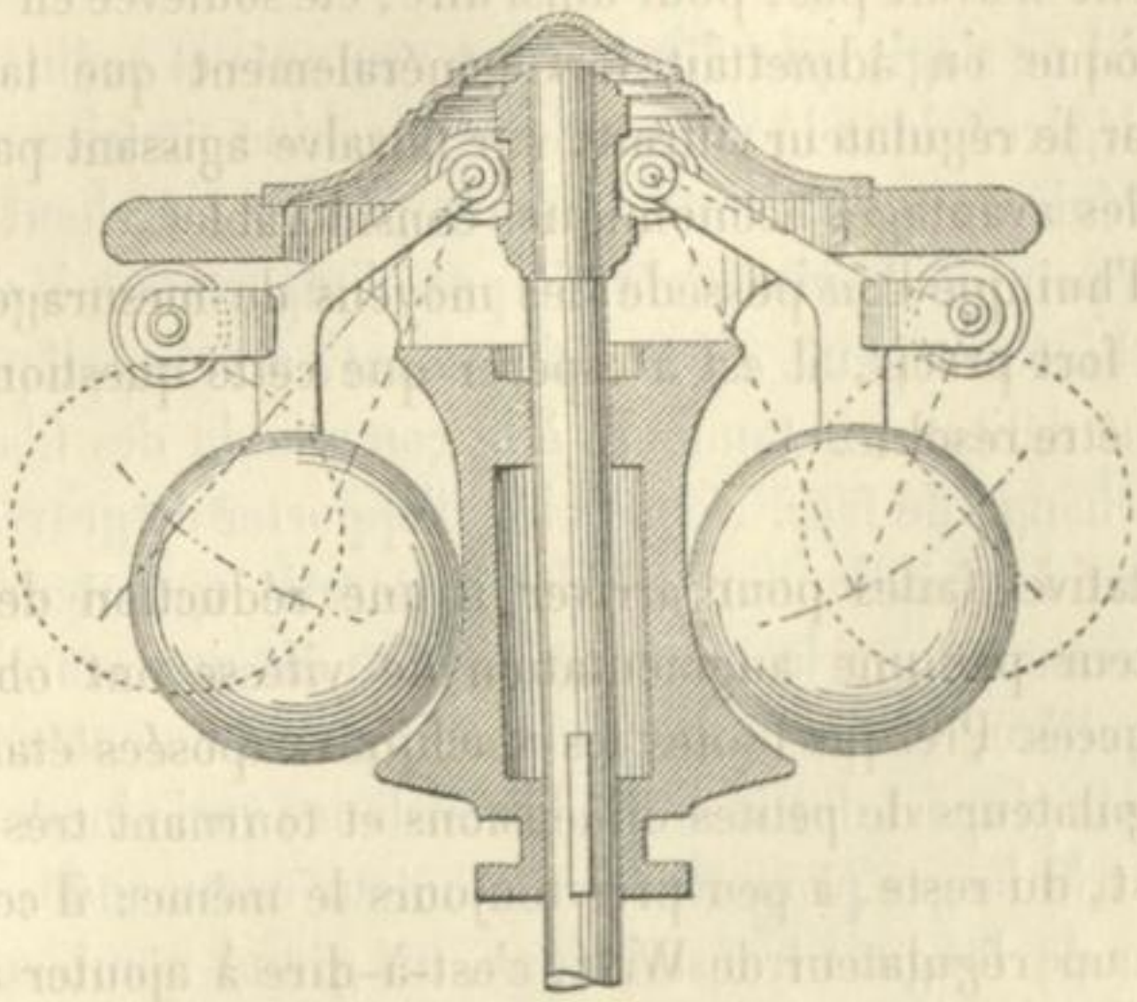


Fig. 37. — Régulateur de la maison Beer.

Le poids servant à surcharger peut être, comme dans le cas précédent, fixé directement à la douille; on peut aussi le faire agir au moyen d'un levier; et avec cette disposition, rien de plus simple que de modifier, en marche, l'allure de régime de la machine : il suffit pour cela de déplacer le poids sur son bras de levier.

On voyait aussi à l'Exposition plusieurs régulateurs, dans lesquels les bras de suspension des boules, au lieu d'être des tiges articulées, étaient constitués par des lames de ressort; lorsque les boules sont petites et les lames un peu raides, le régulateur doit tourner à de très grandes vitesses; dès lors le poids des boules disparaît devant leur force centrifuge, et l'axe de rotation peut être placé horizontalement, ce qui simplifie souvent les trans-

Gr. VI. — Cl. 54.

missions. Tels étaient les régulateurs Pickering et Cie, de Portland (Connecticut, États-Unis), et de Damey (J.-A.), à Dôle (Jura).

Arrivons maintenant à l'étude des dispositions essayées pour maintenir la vitesse de la machine dans des limites aussi étroites que possible, quelles que soient les charges qu'elle ait à traîner; et d'abord donnons une idée nette du problème tel qu'il s'est posé à l'origine.

Tant qu'il ne s'agit que des travaux courants et ordinaires, des variations légères dans la vitesse de la machine motrice n'ont aucun inconvénient: qu'un tour, qu'une pompe marchent un peu plus ou un peu moins vite, cela n'a pas d'importance. Mais depuis que la machine à vapeur, en se vulgarisant, a été appliquée à des travaux plus délicats, notamment à la commande des filatures, la question a changé de face. Sous peine d'apporter de graves perturbations dans le fonctionnement des appareils opérateurs, il est souvent nécessaire que la machine motrice ait une marche absolument régulière, et que son allure soit parfaitement constante.

Or, dans la plupart des ateliers, la résistance varie incessamment et dans de très larges proportions: le moteur commande, par l'intermédiaire de longues transmissions, un grand nombre de machines-outils; quelques-unes sont à l'arrêt ou en réparation, les autres sont à des périodes diverses de leur fonctionnement, c'est-à-dire consomment des quantités très inégales de puissance. D'un instant à l'autre, l'effort exercé par la machine motrice doit se mettre en équilibre avec la résistance, qui est éminemment variable, et cependant conserver une vitesse très uniforme.

Le régulateur de Watt satisfait-il à ces conditions essentielles? Le contraire est facile à démontrer.

Supposons en effet, à un moment donné, la machine à son allure de régime: si la résistance vient à diminuer, il faut que l'effort moteur diminue dans la même proportion; donc la valve va se fermer, c'est-à-dire que les boules du régulateur s'écarteront; mais cela n'est possible qu'autant que la vitesse augmentera elle-même; il s'établira donc une nouvelle allure d'équilibre, plus rapide que la première, et d'autant plus rapide que la diminution

dans la résistance aura été plus grande. Réciproquement, une augmentation de la résistance entraînerait une réduction dans la vitesse de la machine.

Telle est la difficulté que l'on a essayé de tourner en modifiant la construction du pendule conique de Watt.

Les boules de ce pendule ne peuvent s'écarter, sans que la vitesse de la machine augmente. On a donc cherché à construire des régulateurs tels que les boules puissent se déplacer, sans que la vitesse de rotation varie, c'est-à-dire tels qu'à la vitesse de régime le système soit en équilibre, quelle que soit la position des boules. Un pareil régulateur est dit *isochrone* ou *astatique*.

Il y a quelques réserves à faire au sujet de la manière dont cette question est posée; nous aurons occasion d'y revenir.

Quoi qu'il en soit, énoncé dans ces termes, le problème a reçu un grand nombre de solutions, et donné lieu à des recherches de la plus grande valeur et d'un haut intérêt; elles ont conduit à des formes de régulateurs, que l'on voit en grand nombre réalisées avec succès sur les machines de l'Exposition. Il serait hors de propos de décrire tous ces appareils, ou de mentionner les savants ingénieurs qui ont apporté leur concours à l'établissement de la théorie de l'isochronisme. Qu'on nous permette toutefois de rappeler le nom de Léon Foucault, à cause de l'importance spéciale de ses travaux sur cette matière; d'un esprit aussi juste que fertile en inventions, il a imaginé de nombreuses dispositions résolvant le problème dont il s'agit, et qui ont été souvent proposées après lui et sous d'autres noms que le sien.

L'une de ces dispositions comportait un contrepoids, monté sur un levier décrivant de part et d'autre de la verticale des oscillations, proportionnelles à celles du manchon du régulateur autour de sa position moyenne; un régulateur ainsi construit donne un isochronisme aussi complet qu'on le veut; de plus, il jouit de cette propriété précieuse, qu'il n'est pas nécessaire d'en calculer à l'avance toutes les proportions avec une précision parfaite, difficile à obtenir du premier coup; le contrepoids vertical peut être déplacé sur son bras; on peut donc régler par tâtonnements sa position

Gr. VI. — Cl. 54.

sur la machine en marche, de manière à suppléer ainsi pratiquement à l'incertitude inévitable du calcul.

Ce régulateur était appliqué sur plusieurs des machines de l'Exposition.

Il en était de même du régulateur à bras croisés de Farcot, dont les dispositions sont bien connues, et dont les proportions et les détails ont été étudiés avec le soin judicieux qui est de tradition dans la maison.

M. Tschébycheff, membre associé de l'Institut de France, avait exposé, sous forme de petit modèle, un régulateur à force centrifuge isochrone; cet appareil, fort simple de construction, est la réalisation des résultats d'une analyse profonde; l'isochronisme de cet appareil était matériellement démontré par la comparaison avec la marche d'une pendule, et se soutenait malgré les efforts très variables auxquels il était soumis.

Le jury a examiné avec un profond intérêt ce régulateur, ainsi que diverses combinaisons cinématiques exposées par M. Tschébycheff. C'était un honneur pour la classe 54 de voir figurer dans son exposition des appareils d'une aussi grande valeur scientifique. La haute situation de l'illustre professeur ne permettait pas de le classer dans les rangs des autres exposants. Le jury ne s'est pas cru autorisé à donner son jugement sur ces savantes études. En conséquence il a décidé que M. Tschébycheff ne serait pas porté sur la liste des récompenses, et a chargé son bureau de le remercier, par une lettre spéciale, et de lui faire connaître les motifs de cette décision.

Parmi les régulateurs isochrones, ou se rapprochant plus ou moins de l'isochronisme, il convient de mentionner les systèmes établis par MM. Büss, Sombart et Cie, de Paris, Noël (A.), de Provins, Andrade, etc.

Les régulateurs isochrones sont en équilibre pour une vitesse de rotation déterminée, quel que soit l'écart des boules, et, par conséquent, quel que soit le travail imposé à la machine; pour toute autre vitesse, l'équilibre est impossible.

Actuellement, il convient de se demander si, l'isochronisme une fois réalisé pour le régulateur, le problème de l'uniformité d'allure du moteur est résolu; si cet équilibre à une vitesse déterminée, le seul possible, sera effectivement et forcément obtenu.

La réponse ne saurait être que négative: elle a été donnée immédiatement par la pratique, avant d'avoir été démontrée par la théorie. Il est clair que l'équilibre ainsi obtenu est essentiellement instable; en effet, sitôt que, pour une cause quelconque, la vitesse vient à différer tant soit peu de celle pour laquelle le régulateur est établi, les boules sautent immédiatement à leur position extrême, ce qui détermine une modification brusque et exagérée du travail moteur; ce n'est pas la vitesse prévue qui est réalisée; au contraire, il ne s'établit aucun régime permanent, et l'allure est tout à fait désordonnée.

Pour rentrer dans les conditions d'une marche régulière, il faut donc s'éloigner de l'isochronisme parfait et donner au régulateur une certaine stabilité, tout en lui conservant une suffisante sensibilité; jusque-là, rien que de facile; par une modification convenable des proportions, on peut toujours transformer un régulateur isochrone en un régulateur plus ou moins stable.

Mais dans quelle mesure faut-il s'éloigner de l'isochronisme? A quel degré de stabilité ou de sensibilité convient-il de s'arrêter?

Voilà un problème beaucoup plus délicat, et l'on se trouve ici en présence d'une véritable obscurité. On comprend très bien, à première vue, et l'on constate tous les jours, qu'un régulateur, excellent pour une machine donnée, pourra fonctionner fort mal, si on le transporte, tel quel et sans y rien changer, sur une autre machine très différente de la première. Mais il y a loin de cette notion vague à une théorie précise.

La question, analysée d'un peu près, conduit aux conséquences suivantes :

Un régulateur ne doit pas être considéré isolément et abstraction faite de la machine qu'il gouverne; il y a, entre ces deux systèmes mécaniques, une connexion intime et immédiate, ils réagissent incessamment l'un sur l'autre, et forment un tout unique, et non pas une simple juxtaposition. De plus, dans cet ensemble,

chacune des parties exerce à son tour son action sur les fonctions de chacun des autres organes : ainsi, dans l'étude du mouvement d'une machine à vapeur, il est nécessaire de faire la part, non seulement du régulateur lui-même, mais encore de la transmission par laquelle il commande la valve ou les appareils de détente variable; il faut faire entrer en ligne de compte les variations de puissance motrice correspondant à chaque déplacement du manchon, ainsi que la masse et le rayon du volant.

Examinons à ce point de vue le cas où l'on a besoin d'une grande uniformité de vitesse, et plaçons-nous d'abord dans les conditions qui se trouvent à peu près réalisées par la plupart des machines motrices. Nous supposerons donc que la transmission donnée soit telle qu'à une vitesse donnée corresponde une ouverture déterminée de la valve (ou de la détente variable), et par conséquent une valeur également déterminée de la puissance motrice.

Dans cette hypothèse, on démontre facilement que la régularité plus ou moins grande de l'allure ne dépend pas du système dans lequel est construit le régulateur, qu'on peut obtenir le même degré de régularité avec le régulateur de Watt qu'avec un régulateur quelconque, doué d'une certaine stabilité, mais aussi voisin qu'on le voudra de l'isochronisme; que le rôle du volant est prépondérant, et qu'on pourra donner à la machine une allure très uniforme si le volant est puissant; qu'avec un volant léger, les écarts de vitesse sont grands, quelle que soit la perfection du régulateur.

Dans les conditions ci-dessus définies, les systèmes à surcharge et ceux plus ou moins isochrones ne présentent donc, relativement au régulateur de Watt, aucun avantage essentiel; ils sont seulement plus légers et moins volumineux : c'est dans le volant que réside principalement la régularité plus ou moins parfaite de marche.

Depuis quelques années, on est parvenu à rompre le cercle vicieux dans lequel la question qui nous occupe avait tourné jusqu'alors. Ce progrès, fait important et digne d'être noté, a été réalisé par des moyens d'atelier; dans ce cas, comme dans beaucoup d'autres, la pratique a devancé la théorie.

Quand on monte un régulateur très sensible sur une machine dont le volant n'est pas assez puissant, l'allure est affolée, et passe par des alternatives rapides de grande vitesse et de ralentissement; le régulateur traduit fidèlement les circonstances de cette marche désordonnée, et les boules éprouvent des oscillations brusques et incessantes. Pour calmer cette perpétuelle agitation du régulateur, certains mécaniciens ont l'habitude de créer un frottement artificiel, en serrant quelqu'une des articulations de la transmission.

Ce remède singulier a quelquefois réussi, lorsqu'il était appliqué avec modération; il ne s'adresse qu'au régulateur; mais, pour être indirecte, son action sur la machine n'en a pas moins été assez souvent efficace, et il est arrivé parfois que ce moyen fort simple a suffi pour assurer à la marche une régularité satisfaisante.

Il n'y a là, d'ailleurs, aucune contradiction avec les indications de la théorie qui a été rappelée plus haut. En effet on ne retrouve plus réalisée ici l'hypothèse précédemment admise, qu'à une vitesse donnée correspond une ouverture déterminée de la valve; car en vertu du frottement développé, la vitesse peut varier dans de certaines limites, sans que la position de la valve soit changée.

Ce procédé, un peu barbare, a été rendu plus précis et est devenu ainsi fort efficace et d'un usage fort général; l'artifice consiste à armer la douille du régulateur d'un *frein liquide*, espèce de cataracte, constituée par un petit piston se mouvant dans un cylindre plein d'huile, et dont les deux fonds communiquent par une ouverture étroite : ce frein oppose aux déplacements rapides de la douille une résistance considérable. Ce système présente le grand avantage de pouvoir être réglé sans arrêter le mouvement du moteur : la machine étant en marche, on ferme plus ou moins l'ouverture du frein, et après quelques tâtonnements, on arrive, avec des appareils convenablement proportionnés, à une grande régularité d'allure, même avec des volants relativement légers. Cette solution donne des résultats fort satisfaisants; elle était appliquée à un grand nombre des machines de l'Exposition.

En voici une autre, fondée sur un principe tout différent; c'est le régulateur à compensateur imaginé par M. G. Denis.

Gr. VI. — Cl. 54.

Pour faire comprendre ce système, assez subtil comme principe, prenons un exemple dans la pratique courante, et supposons qu'il s'agisse d'une machine gouvernée par un régulateur ordinaire de Watt agissant sur une valve, mais que, de plus, cette machine soit munie d'une détente variable à la main.

La détente étant établie par le mécanicien pour une allure déterminée et une résistance donnée, les boules du régulateur seront à leur hauteur normale. Supposons maintenant que la résistance vienne à diminuer; la vitesse va s'accroître, et il s'établira, comme on l'a vu plus haut, un nouveau régime plus rapide que le précédent.

Le mécanicien, prévenu par l'élévation du manchon du régulateur, va agir de manière à rétablir la vitesse primitive; à cet effet, il manœuvrera la détente variable, de manière à réduire l'admission, jusqu'à ce qu'il ait vu les boules retomber à leur niveau régulier. Eh bien, cette manœuvre faite par la main du mécanicien, M. Denis charge le régulateur de la faire automatiquement; dès que le manchon s'écarte de sa position moyenne, son déplacement embraye une transmission, qui est mue par la machine et agit sur la distribution; cette commande est débrayée quand les boules sont revenues à leur situation normale, c'est-à-dire quand la machine a repris la vitesse de régime.

Nous avons supposé, pour rendre l'explication plus claire, qu'il existait simultanément deux moyens complémentaires de modifier la puissance motrice, la valve et la détente variable; mais cela n'est pas du tout nécessaire pour que le compensateur Denis soit applicable; s'il n'y a qu'un système de distribution variable (valve ou détente), l'embrayage agira sur la transmission entre le régulateur et ce système, et les mêmes effets seront reproduits.

Le régulateur Denis est une combinaison habile et heureuse de systèmes déjà connus; pratiquement il donne de bons résultats, s'il est bien établi. A l'Exposition, il était adapté aux machines de la Société de construction de Pantin.

Le système consistant à commander la détente variable par un embrayage, gouverné lui-même par le régulateur, est loin d'être nouveau; emprunté au mécanisme des moulins, il a été appliqué

très souvent pour mettre en mouvement la vis qui actionne les blocs de la détente Meyer, ou, d'une manière plus générale, dans le cas où le déplacement des organes distributeurs exige un effort notable, supérieur à la faible puissance des boules d'un pendule. Comme dans le compensateur Denis, l'appareil est disposé de telle sorte que, lorsque les boules s'élèvent au-dessus de leur position moyenne, elles font embrayer l'arbre de la vis à double filet avec une transmission actionnée par l'arbre de couche; l'admission se trouve ainsi réduite; l'effet inverse se produit quand les boules s'abaissent. On a cru quelquefois réaliser ainsi l'uniformité de marche des moteurs, même sans recourir à un régulateur sensible ou isochrone; et en effet le régime permanent ne peut s'établir que si l'embrayage n'est pas en prise, c'est-à-dire si la vitesse est comprise entre les deux limites qui le font mordre, soit pour la marche en avant, soit pour la marche en arrière de la transmission; et ces limites peuvent être resserrées à volonté. Mais la question est ici de même nature que pour le pendule isochrone : il ne suffit pas que le régime permanent soit possible, pour qu'il se réalise effectivement; il faut encore qu'il y ait certaines proportions entre la commande des organes distributeurs et la puissance du volant. Il faut de plus, au cas particulier, que les variations du travail résistant ne soient pas trop rapides; sans cela, le travail moteur, qui ne peut se modifier que lentement, ne rattrape le travail résistant qu'après plusieurs tours, alors que la machine s'est beaucoup éloignée de son régime normal. Il résulte de cette discordance entre la puissance et la résistance des oscillations dans la vitesse de marche, oscillations à longue période, qui ne s'éteignent que par hasard, pour se reproduire presque aussitôt. Cette allure singulière se remarque fort souvent dans les machines, lorsque le régulateur est installé dans les conditions ci-dessus.

La transmission par embrayage a une action trop lente; la transmission directe de Watt entraîne forcément une vitesse variable; dans le régulateur Denis, les défauts de l'une sont ingénieusement corrigés par l'autre.

Voici une autre disposition qui remédie également aux imper-

Gr. VI. — Cl. 54.

fections de la commande par embrayage. Elle est due à M. J.-G. Bodemer.

Les longues oscillations qui se produisent avec le système précédent s'expliquent facilement; l'allure normale ne peut subsister qu'à une double condition : il faut que la vitesse de marche soit la vitesse normale, et qu'en même temps le travail moteur soit égal au travail résistant; la machine se tient alors en équilibre, comme un pendule vertical suspendu à un point fixe. Qu'une inégalité se produise entre la puissance et la résistance, l'équilibre est rompu; c'est comme si l'on imprimait une impulsion au pendule; il ne s'arrêtera pas sur la verticale, il la dépassera et entrera en oscillation.

Pour arrêter ces oscillations, il suffirait de supposer que la force qui tend à ramener le pendule s'exerce quand il s'éloigne de la verticale, et qu'elle est supprimée, quand il commence à s'en rapprocher; il arrivera ainsi à sa position d'équilibre avec une vitesse très faible, et, après quelques excursions de plus en plus petites, il finira par s'y fixer.

Cette explication s'adapte presque littéralement au régulateur de M. Bodemer : ce système est organisé de telle sorte que le débrayage se produise, non seulement quand le manchon du régulateur est dans sa position moyenne, mais encore dès qu'il tend à s'en rapprocher. De cette façon les oscillations sont très promptement éteintes, et, lorsque la charge de la machine vient à varier, la vitesse normale est rétablie au bout de quelques tours.

Il y a, dans cet organisme, une étude délicate et ingénieuse, qui mérite d'être signalée.

L'appareil Bodemer était appliqué à une turbine exposée par la maison Escher Wyss et Cie (Suisse); il semble en effet s'adapter fort bien aux conditions de marche d'un moteur hydraulique.

Le système de transmission imaginé par MM. Windsor et Hall, et appliqué sur la belle machine à balancier exposée par MM. Windsor et fils, de Rouen, est tout différent (fig. 38). Il a simplement pour objet d'éviter ces volumineux pendules, auxquels on est obligé de recourir, lorsqu'il s'agit de puissants moteurs, pour déplacer les lourdes pièces de la distribution. Le régulateur de la

machine de Windsor était très petit; il agissait sur un manchon à bosses, commandant un obturateur d'arrivée de vapeur; mais son action s'exerçait par l'intermédiaire d'un véritable servo-moteur, dont le régulateur tenait les rênes, et qui empruntait sa force motrice au vide du condenseur.

Le piston C se meut dans un cylindre, dont le haut communique, par E et B, avec le condenseur, et par A avec la bâche à eau chaude; la tige de ce piston porte, au moyen de la traverse H et d'une paire de tiges pendantes, le manchon à bosses H. L'eau, arrivant par A, passe à travers le piston par les petits trous *dd;* il s'établit donc un courant d'eau continu par A et EB, et il est clair que la pression au-dessus du piston dépend du rapport entre les trous *dd* et l'orifice E. Les trous *dd* sont obturés plus ou moins au moyen d'un petit tiroir circulaire, manœuvré par la tringle F, qui pénètre dans la tige creuse du piston, et qui est elle-même commandée par le régulateur à force centrifuge. Le piston est sollicité, d'une part par le poids du manchon et de son attirail, d'autre part par la différence des pressions sur ses deux faces; la première force est constante; pour que la deuxième le soit, il faut donc que l'ouverture des trous *dd* soit aussi constante; si donc la tige F, en se soulevant, diminue cette ouverture, la pression en dessous devenant prépondérante, le pis-

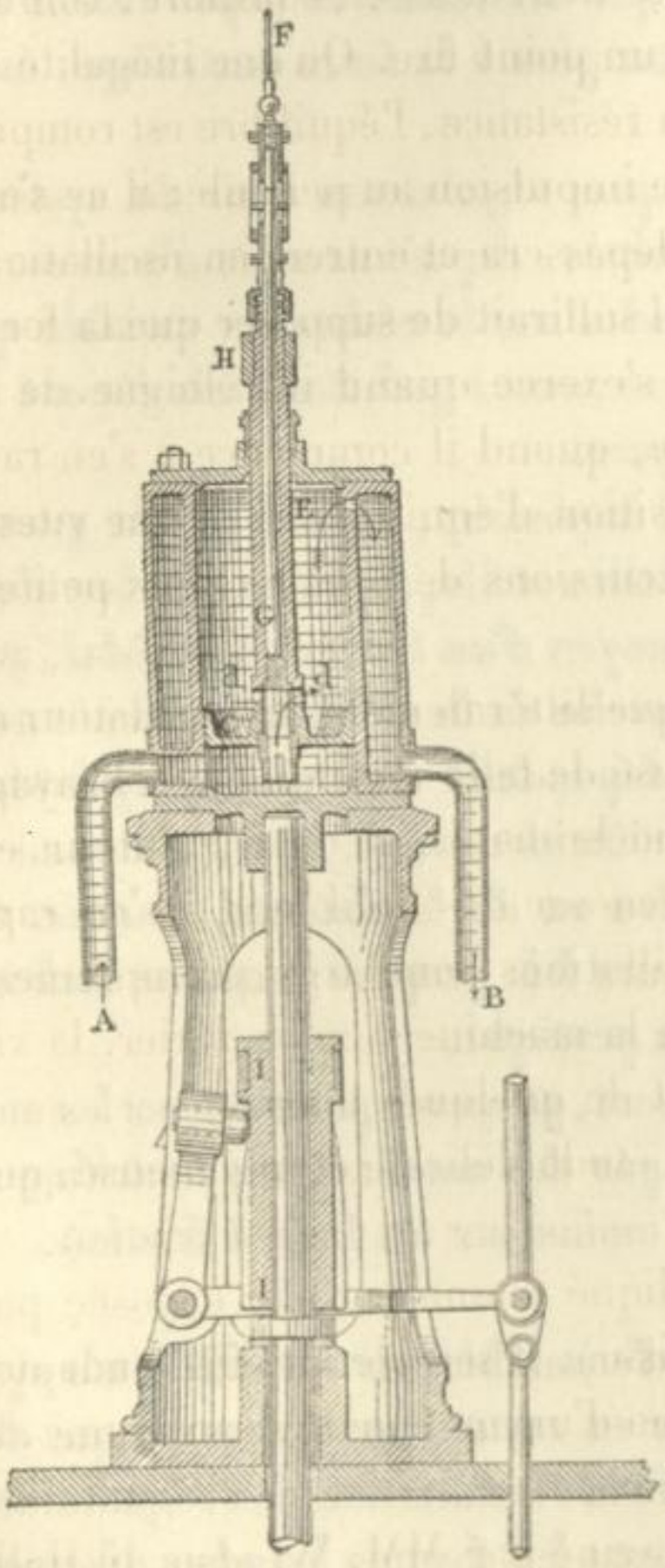


Fig. 38. — Transmission de régulateur de Windsor et Hall.

ton se soulèvera; il suivra ainsi tous les mouvements de la tige F; et, par l'intermédiaire de cet appareil, un léger régulateur commandera le lourd manchon à bosse, aussi sûrement qu'un puissant pendule qui y serait attelé directement.

Disons quelques mots des systèmes de régulateurs dans lesquels l'effort, variable avec la vitesse qui détermine le déplacement des distributeurs, est emprunté, non plus à la force centrifuge, mais à la résistance des fluides.

Il y avait à l'Exposition quelques régulateurs à air du système Larivière, pratiqué, non sans succès, depuis nombre d'années.

Plusieurs systèmes étaient fondés sur la résistance variable que l'eau oppose au mouvement d'une roue à palettes : tels étaient les régulateurs Allen et Marcel Deprez.

On voyait aussi un dispositif ingénieux, exposé par la grande maison d'horlogerie mécanique Collin et fils, de Paris : l'arbre d'une machine est mis en relation, au moyen d'un train épicycloïdal, avec l'aiguille d'une pendule; si la marche de la machine coïncide avec celle de la pendule, un levier, dépendant du train épicycloïdal, reste horizontal; s'il n'y a pas coïncidence, le levier s'incline et produit le déplacement de la valve ou de la détente variable. Ce système curieux a déjà été plusieurs fois proposé; nous ne sachons pas qu'il se soit répandu dans la pratique.

Enfin les petits moteurs à ressort, proposés pour activer les machines à coudre, sont gouvernés par des modérateurs centrifuges, qui agissent en pressant plus ou moins sur un frein à friction.

Si nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur les différents systèmes que nous venons de passer en revue, nous voyons que des progrès notables ont été réalisés dans l'installation des régulateurs. Les pendules à grande vitesse, sous les formes les plus diverses, sont de plus en plus en vogue. On s'efforce toujours, et par des moyens fort variés, d'assurer aux machines fixes une grande uniformité d'allure. Plusieurs constructeurs se sont attachés à la poursuite de l'isochronisme plus ou moins parfait, et de cette recherche sont résultés quelques dispositifs fort intéressants. D'autres

continuent à s'adresser au volant, et lui donnent une grande puissance pour obtenir une grande régularité. Enfin ce problème difficile a reçu récemment trois solutions nouvelles remarquables, qui s'appuient sur une analyse profonde et délicate du fonctionnement des machines motrices, et que l'on peut considérer comme sanctionnées par la pratique; ce sont le régulateur à frein liquide, et les systèmes Denis et Bodemer. Gr. VI. — Cl. 54.

CHAPITRE V.

MACHINES MOTRICES DIVERSES.

SECTION I.

MACHINES À AIR CHAUD, À GAZ, ETC.

Sommaire. — Objet. — Des machines thermiques en général. — Influence de l'écart des températures. — Classification.

Machines dont le piston se meut à froid. — Machine de Laubereau.

Machines à foyer intérieur. — Machines de Hock, de Brown.

Machines à régénérateurs. — Machine de Rider.

Machines à explosion. — Machines à gaz de Lenoir, de Hugon, d'Otto et Langen, d'Otto, de Bisschop.

Machines diverses. — Machine à gaz de Simon. — Machine à essence de Dusaulx. — Machine solaire de Mouchot.

Résumé.

Nous étudierons, dans la présente section, les machines motrices thermiques, dans lesquelles la chaleur est transformée en travail par l'intermédiaire d'un corps autre que la vapeur d'eau.

Les machines de ce genre un peu remarquables que l'on rencontrait à l'Exposition étaient des machines à air chauffé, soit indirectement et par contact, soit directement par mélange. Avant d'en aborder la description, il ne sera pas hors de propos d'examiner sommairement quel est aujourd'hui l'état de cette question des machines à air chaud, qui est réellement importante, aussi bien par les échecs célèbres qu'elle a entraînés que par les espérances qu'elle peut laisser concevoir.

Nous avons vu que, dans les machines à vapeur ordinaires, la quantité de chaleur transformée en travail est fort petite relativement à celle qui traverse la machine; la vapeur d'échappement ou l'eau chaude qui sort du condenseur emportent la presque totalité de la chaleur fournie par le foyer de la chaudière.

Ce fait a été depuis longtemps remarqué; il était considéré

Gr. VI. — Cl. 54.

comme inhérent à la vapeur d'eau, et résultant des propriétés mêmes de ce fluide; longtemps on l'a attribué à la chaleur que la vapeur d'eau contient sous forme latente, chaleur qui est perdue pour l'effet dynamique à produire. De là, de nombreuses tentatives pour substituer à la vapeur d'eau d'autres fluides, vapeur d'éther, de chloroforme, ammoniaque, air atmosphérique, etc.

Les progrès qu'a faits, depuis quelques années, la théorie mécanique de la chaleur ont jeté un grand jour sur la question qui nous occupe. On peut admettre comme bien démontré aujourd'hui que la perte de la chaleur, emportée par les produits qui s'échappent d'une machine thermique, ne dépend que d'une manière secondaire de la nature du fluide mis en jeu; qu'elle serait à fort peu près la même, toutes conditions égales, avec un gaz permanent ou une vapeur quelconque, qu'avec la vapeur d'eau; il n'y a guère qu'un moyen de l'atténuer, c'est d'augmenter, autant que possible, l'écart des températures que possède le fluide à son entrée et à sa sortie.

Ces notions sont devenues aujourd'hui assez vulgaires, et c'est là, il faut le croire, le motif principal de la défaveur marquée dans laquelle sont tombées actuellement les machines dites *caloriques*. Mais, il y a quelques années, il en était tout autrement; les gaz permanents n'ont pas de chaleur latente, et l'on espérait, en se servant d'air atmosphérique, réduire beaucoup la perte de chaleur à l'échappement, et par conséquent faire un bien meilleur usage du combustible.

On se souvient du succès momentané, mais considérable, qu'avaient obtenu les machines d'Ericsson, de Belou, de Pascal, et de l'intérêt anxieux avec lequel on suivait ces expériences, qui semblaient promettre une révolution économique analogue à celle qui a accompagné l'apparition de la machine à vapeur. Il en est tout autrement aujourd'hui. On trouve bien à l'Exposition un certain nombre, assez petit du reste, de machines à air chaud, mais ce n'est plus à l'économie de combustible qu'elles visent; elles sont réservées pour les petites forces, et l'avantage principal qu'on leur attribue, c'est la simplicité dans la conduite et la suppression des dangers et de l'encombrement de la chaudière. On s'efforce de

faire de la machine à air chaud un moteur domestique, donnant peu de sujétions, pouvant être conduit par n'importe quelles mains; quant à la dépense de charbon, cette question est reléguée au second rang, et doit l'être en effet lorsqu'il s'agit de faibles puissances.

Cela est tellement vrai que, dans plusieurs de ces machines, celles qui, peut-être, sont jusqu'ici les mieux réussies, on brûle un combustible d'un prix exorbitant, le gaz d'éclairage, uniquement parce qu'il est plus commode d'emploi, plus facile à manier.

Les divers moteurs à air chaud de l'Exposition, malgré leur petit nombre, offrent, comme fonctionnement, des différences bien plus fondamentales que les innombrables machines à vapeur que l'on voyait figurer à côté d'eux. L'étude en présente donc un intérêt sérieux, d'autant plus qu'un certain nombre de ces machines sont entrées dans la pratique courante, et que les usages auxquels elles sont appliquées semblent prendre une extension rapide.

D'autre part, si accessoire que soit par elle-même la question de l'économie du combustible, lorsqu'il s'agit de petits moteurs, le bon emploi de la chaleur n'en a pas moins une importance, quoique indirecte, très grande au point de vue du volume, du prix et de l'encombrement de la machine. En parlant des moteurs à vapeur d'eau, nous avons vu combien il est nécessaire, dans tous les cas, que la machine soit bonne et utilise bien la vapeur, ne fût-ce que pour réduire les dimensions de la chaudière. Il en est de même au cas actuel; une machine thermique, mauvaise comme rendement calorifique, est toujours volumineuse, et manque ainsi le but essentiel.

Il convient donc, comme point de départ, de se préoccuper des conditions à satisfaire pour que la chaleur soit convenablement employée, et de la façon plus ou moins complète dont ces conditions sont remplies dans les divers moteurs exposés; il y a là, d'ailleurs, la base d'une classification toute naturelle et indispensable à établir dans l'étude d'un sujet aussi varié.

Ainsi qu'on l'a rappelé plus haut, le rendement dynamique de

la chaleur qui traverse une machine thermique dépend, avant tout, de l'écart des températures que possède le fluide à son entrée dans le cylindre et à sa sortie. Plus cet écart est grand, toutes conditions égales, mieux la chaleur peut être employée. Pour augmenter cet écart, on ne saurait abaisser la température à la sortie au-dessous de la température des corps froids dont on dispose, eau, air, etc. Il faut donc élever la température la plus haute. De ce chef il y a beaucoup à gagner, puisque les machines à vapeur ordinaires ne travaillent guère qu'à des températures de 150 à 160 degrés.

Ainsi donc, première condition : température élevée à l'admission dans le cylindre.

Mais l'air se prête-t-il mieux que la vapeur d'eau à cette élévation de température? La question, pour être d'un ordre purement pratique, n'en a pas moins une extrême importance.

D'abord à des températures qui ne sont pas même très élevées, l'air brûle rapidement les graisses et oxyde les métaux ; en outre, au contact d'une paroi chaude, l'air prend la chaleur bien moins rapidement que l'eau, de sorte qu'un récipient pour le chauffage de l'air doit présenter, à égalité de chaleur transmise dans le même temps, une surface de chauffe bien plus considérable qu'une chaudière à vapeur ordinaire.

A ces considérations il en faut ajouter une autre, qui n'est pas moins essentielle : il ne suffit pas que les deux températures extrêmes soient éloignées l'une de l'autre, il faut encore que la chute de température dont on dispose soit convenablement utilisée ; cette condition est, comme on l'a vu, remplie d'une manière satisfaisante dans les machines à vapeur ; il est loin d'en être de même dans la plupart des machines à air chaud actuelles.

Voilà donc quatre points qui, successivement ou simultanément, ont attiré l'attention des inventeurs. Dans l'examen sommaire que nous allons entreprendre, nous classerons les machines à air chaud en quatre catégories, selon que le constructeur s'est attaché principalement à l'une ou l'autre des quatre conditions que nous venons de rappeler, savoir :

1° Éviter les inconvénients du contact de l'air chaud avec les surfaces frottantes;

2° Faciliter la transmission de la chaleur entre le foyer et le fluide moteur;

3° Améliorer l'utilisation de la chute de chaleur disponible;

4° Augmenter l'écart des températures.

Dans la première catégorie nous trouvons d'abord la machine de M. J. Laubereau, de Paris. Cet inventeur s'est occupé depuis de longues années, et avec une persévérance fort méritoire, de la question des machines à air chaud. Les machines qu'il proposait aux expositions précédentes se composaient de deux parties : un appareil destiné à produire de l'air plus ou moins comprimé ou *générateur de pression*, et un *cylindre moteur*. Le générateur de pression est un cylindre vertical, dans lequel se meut librement, et avec un large jeu latéral, un piston épais composé de matières peu conductrices de la chaleur (plâtre). La partie inférieure du cylindre est chauffée par un foyer; la partie supérieure est refroidie par une circulation d'eau extérieure. Une masse d'air étant renfermée dans le cylindre, si l'on élève le piston, cet air va passer par le pourtour du piston dans la partie inférieure, et, par son contact avec les parois chaudes, s'échauffer sans changer de volume; la pression va donc s'élever. Si l'on abaisse ensuite le piston, l'air passera dans la partie froide, et la pression diminuera; on remarquera que la même pression règne constamment sur les deux faces du piston, le haut et le bas étant en communication par le large passage ménagé entre le piston et le cylindre; d'autre part, le piston n'étant pas en contact avec le cylindre, il n'y a pas de frottement; le mouvement du piston dans le générateur de pression sera donc produit presque sans résistance; en montant et en descendant, ce piston ne fait que déplacer un certain volume d'air, qu'il pousse successivement dans la partie chaude et la partie froide, et détermine ainsi, sans dépense de travail, des variations dans la pression. Ces variations de pression sont utilisées dans un petit cylindre moteur, mis en communication avec le haut du générateur, et qui ne reçoit ainsi que de l'air froid.

Ainsi donc, dans le générateur de pression, il n'y a pas de contact entre les surfaces chaudes en mouvement relatif, et, dans le cylindre moteur, les parties frottantes ne sont baignées que par de l'air froid.

Il est nécessaire de remarquer ici que des dispositions analogues, mais plus parfaites à d'autres points de vue, avaient été déjà proposées, vers 1816, par Robert Stirling; nous aurons occasion de revenir sur ce sujet.

La machine exposée en 1878 par M. Laubereau ne diffère pas, en principe, de la précédente; seulement, le piston moteur et le piston du générateur de pression se meuvent l'un au-dessus de l'autre dans un même cylindre vertical; c'est à peu près le dispositif adopté par Ericsson, dans ses dernières machines caloriques de faible puissance, qui ont eu un certain succès en Amérique, mais la transmission de mouvement est plus simple: le piston moteur, placé dans le haut, agit sur un arbre coudé, qui donne le mouvement au piston inférieur au moyen d'un excentrique triangulaire.

La qualité essentielle du premier système de M. Laubereau se retrouve dans le système actuel: les inconvénients du contact de l'air chaud avec les surfaces frottantes sont complètement évités. Pour ce qui concerne les autres conditions du bon emploi de la chaleur, elles sont imparfaitement remplies; la surface de chauffe ainsi que la surface refroidissante sont loin d'être fort développées; quant à l'utilisation de la chute de chaleur disponible, la théorie montre qu'elle laisse à désirer bien plus que dans une machine à vapeur ordinaire. Somme toute, une machine pareille ne saurait être économique comme dépense de combustible, mais elle peut rendre des services pour les très petites forces, et tel est l'objet que poursuit M. Laubereau. Les machines qu'il expose sont faites pour une puissance de quelques kilogrammètres par seconde, ce qu'il faut de force pour faire mouvoir, par exemple, une machine à coudre, et on les chauffe avec une lampe ou un bec de gaz.

Si l'on veut aborder des puissances plus considérables, il est nécessaire d'améliorer le rendement dynamique de la chaleur. C'est le but que l'on a poursuivi en cherchant à éviter les déperditions

considérables, qui sont à peu près inévitables, quand le chauffage de l'air se fait par contact et conductibilité à travers des surfaces métalliques. Le moyen employé consiste à renfermer le foyer à l'intérieur de la machine, de telle sorte que les produits chauds de la combustion se mélangent immédiatement à l'air affluent.

Les machines de ce système sont constituées comme il suit : un cylindre de pompe puise l'air à l'extérieur, et le refoule dans un réservoir, dans lequel se trouve le foyer; l'air, en partie brûlé et plus ou moins chauffé, est envoyé par une distribution dans le cylindre moteur, qui agit sur l'arbre de couche et actionne la pompe à air. Le travail recueilli représente la différence entre celui développé par l'air chaud dans le cylindre moteur, et celui absorbé pour la compression par la pompe alimentaire. Le combustible, qui est du coke, est introduit, au moyen d'un véritable sassement, par une écluse à air à deux portes; un système de valves permet de faire varier les quantités d'air relatives passant à travers le combustible et autour du foyer, de manière à régler la température de l'air chaud.

Le système n'est pas nouveau: des tentatives persévérantes et des expériences sur une grande échelle ont été faites il y a un grand nombre d'années par Belou; malheureusement elles n'ont eu que peu de succès. Belou s'efforçait de construire des machines d'une grande puissance, et se proposait comme but l'économie du combustible. Mais il est facile de voir que, si l'une des conditions précédemment posées est suffisamment remplie, à savoir, la transmission complète de la chaleur développée à l'air comprimé, il en est autrement des trois autres conditions : les frottements s'opèrent entre surfaces chaudes, et pour peu que la température soit élevée, les métaux grippent, et la machine s'arrête; si au contraire l'air n'est pas très chaud, la chute de température devient faible, et la substitution de l'air à la vapeur ne présente plus de sérieux avantages; enfin la chute de température disponible n'est pas mieux utilisée que dans le système par chauffage extérieur.

Les machines de ce genre qu'on rencontrait à l'Exposition étaient d'allures plus modestes : l'économie du combustible passe ici au

Gr. VI. — Cl. 54.

second rang; ce sont des moteurs de petite force, et les inventeurs s'ingénient à en rendre la conduite et l'entretien faciles.

La machine Martin Hock (Autriche) (fig. 39) se construit pour

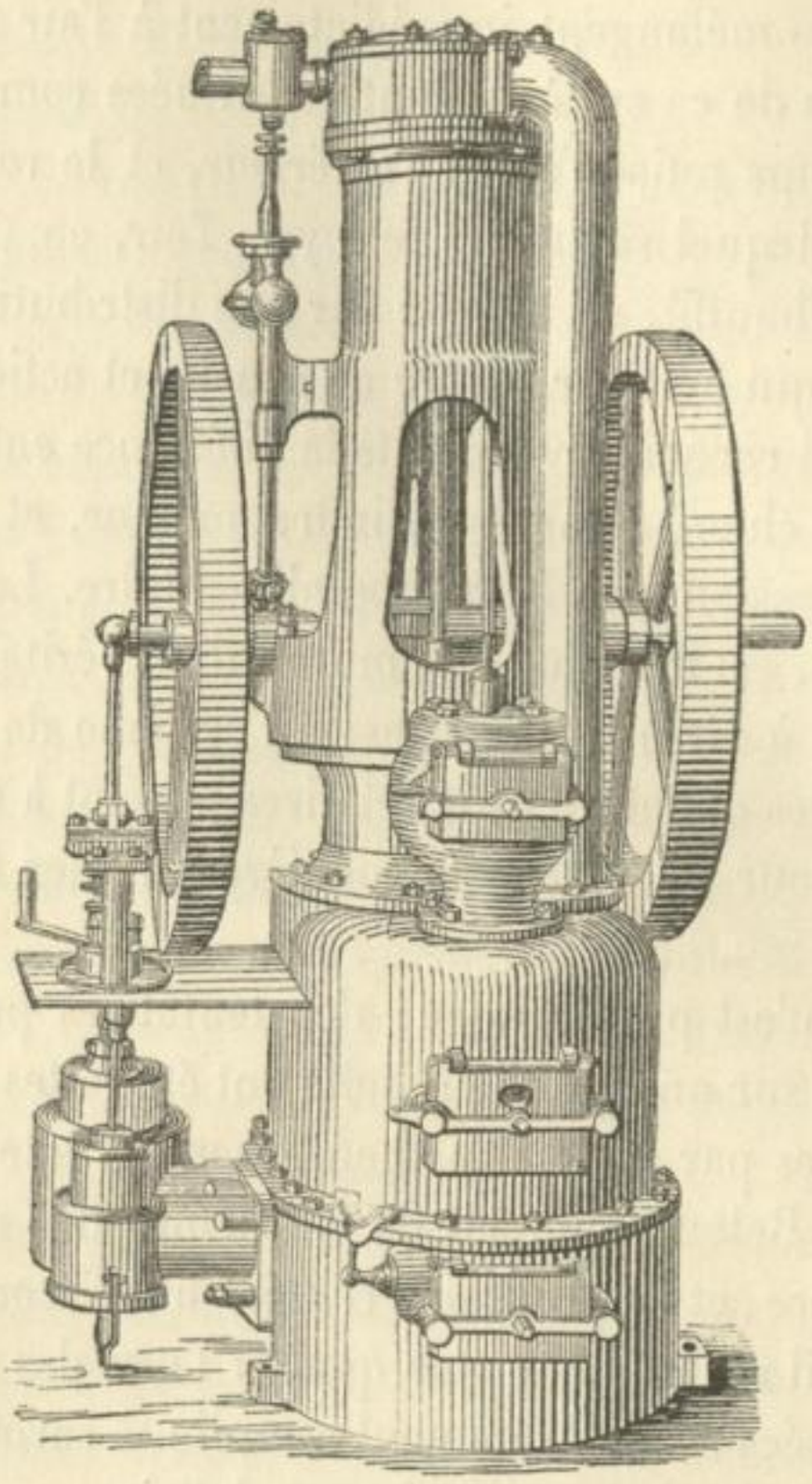


Fig. 39. — Machine à air chaud de Hock.

des forces de 2 à 3 chevaux. Elle est verticale; le cylindre moteur est en bas, la pompe à air en haut; les deux pistons, à simple effet, sont réunis par des tiges rigides, entre lesquelles passe le coude de l'arbre moteur; le foyer, avec son enveloppe en fonte, est à côté du cylindre moteur; la distribution est faite par soupapes. L'ensemble est compact, bien entendu; le fonctionnement est régulier, mais un peu bruyant, défaut qu'il semble facile de corriger. Cette machine semble avoir eu un certain succès en Autriche.

La machine de F. Brown, construite par la *Brown caloric engine Company* (New-York), ne diffère de la précédente que par la disposition des deux cylindres, qui sont reliés aux deux extrémités d'un balancier horizontal. Cette machine, un peu compliquée d'aspect, est employée sur les côtes d'Amérique et d'Angleterre pour actionner les signaux acoustiques; il paraît que la marche est satisfaisante et économique. Le spécimen qui figurait à l'Exposition n'était pas organisé pour fonctionner.

Nous arrivons aux systèmes de machines à air chaud, dans lesquels on s'est attaché à satisfaire à la troisième condition, c'est-à-dire à obtenir une meilleure utilisation de la chute de chaleur disponible.

La théorie démontre que cette condition n'est nullement remplie par les machines que nous venons de décrire. Entre deux températures données, l'une froide, l'autre chaude, pour que le fonctionnement soit économique, il faut qu'au moment où l'air cesse d'agir, il soit à peu près froid; or, un pareil résultat ne pourrait être obtenu qu'en prolongeant la détente dans des proportions inacceptables. Cette difficulté a été tournée par un moyen fort ingénieux, auquel le capitaine Ericsson a donné, il y a quelque trente ans, une immense notoriété : nous voulons parler des *régénérateurs de chaleur*.

L'air, après avoir agi sur le piston moteur, est encore fort chaud; Ericsson eut l'idée de recueillir cette chaleur, en faisant passer le courant gazeux d'échappement à travers les mailles d'un *régénérateur* : c'est un paquet de toiles métalliques, offrant, sous un volume restreint, une surface de contact considérable; l'air chaud se dépouille ainsi de sa chaleur et sort presque froid; puis, dans une nouvelle opération, l'air comprimé et froid est introduit dans le cylindre moteur, en passant à travers le régénérateur, en sens inverse du premier courant; il reprend ainsi une partie de la chaleur qui avait été emmagasinée par le régénérateur dans l'opération précédente.

Dans des conditions déterminées de température, et sans qu'il soit nécessaire de recourir à des détentes exagérées, l'emploi des

Gr. VI. — Cl. 54.

régénérateurs de chaleur permet d'arriver à un rendement s'approchant autant qu'on le veut du rendement théorique. L'idée ingénieuse d'Ericsson était fort juste; mais il faut dire qu'elle n'était pas nouvelle, car, dès 1816, Robert Stirling avait proposé une machine à air chaud munie d'un régénérateur de chaleur, et disposée, en tant que mécanisme, à peu près comme l'ancienne machine de M. Laubereau, dont nous avons parlé plus haut. N'y a-t-il pas quelque chose de singulier à voir, après de longues années d'attente, les deux dispositions essentielles de la machine de Stirling reprises séparément et peut-être réinventées à nouveau?

Quoi qu'il en soit, après des expériences faites sur une échelle considérable, Ericsson abandonna les régénérateurs de chaleur, et se livra à la construction de petites machines caloriques, dans le genre de celle de Laubereau.

Quelle était donc la cause de cet insuccès? Il est vrai que l'utilisation de la chute de chaleur est fort satisfaisante dans ce système, mais c'est la seule des quatre conditions rappelées plus haut qui soit satisfaite; les trois autres ne sont que fort mal remplies : il y a frottement entre surfaces chauffées, insuffisance de surface de chauffe et trop faible écart de températures.

Voici une petite machine calorique, fort intéressante par son principe, qui reproduit celui de la machine d'Ericsson, avec ses qualités et ses défauts; elle est plus intéressante encore par l'extrême simplicité de ses organes et la bonne entente qui a présidé à toute sa construction : c'est la machine à air chaud de Rider, exposée par la maison Tyler (Hayward) et Cie, de Londres.

Elle se compose (fig. 40) de deux cylindres parallèles, parcourus par des pistons à simple effet; l'un des cylindres est refroidi par une circulation extérieure d'eau froide, l'autre est chauffé par un foyer au coke; les deux pistons attaquent l'arbre de couche par des bielles et des manivelles à angle droit; les deux cylindres sont réunis d'une manière permanente par un court tuyau, occupé par un régénérateur de chaleur; ce régénérateur est constitué, non plus par des toiles métalliques, mais par de petites plaques en fonte mince, juxtaposées et d'environ un millimètre d'épaisseur,

qui offrent à la fois une plus grande surface de contact et moins de résistance au mouvement du courant gazeux. La machine fonctionne sans distribution; la même masse d'air passe alternativement d'un cylindre à l'autre, et ses variations de volume et de température produisent le travail.

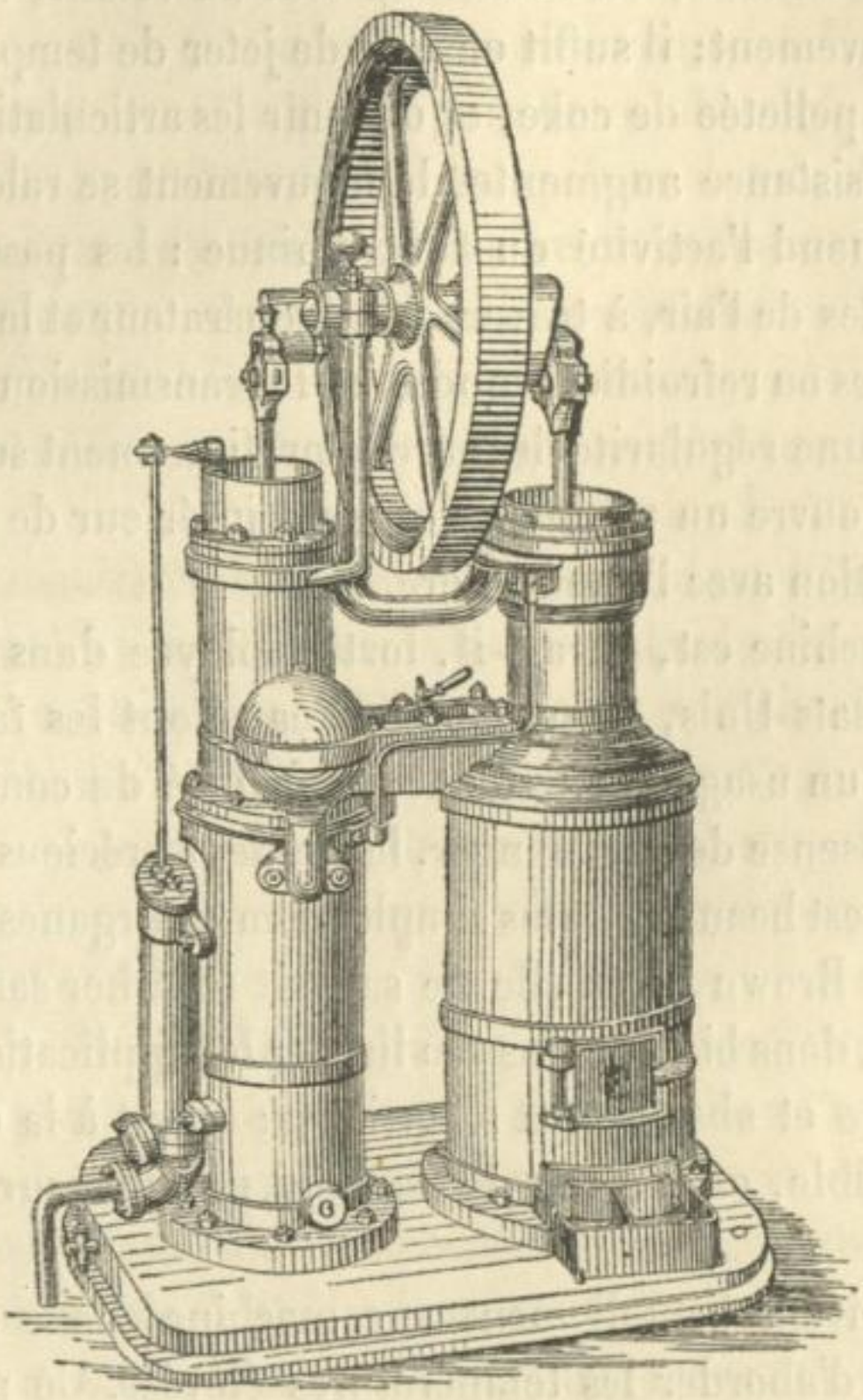


Fig. 40. — Machine à air chaud de Rider.

L'inventeur s'est rendu soigneusement compte des conditions nécessaires pour obtenir un fonctionnement régulier; il a développé autant que possible la surface de chauffe, et obligé le fluide, dans son mouvement, à lécher les parois chauffées et refroidies; les pistons ont la forme de plongeurs; l'étanchéité, si importante et si difficile à obtenir lorsqu'il s'agit de gaz permanents, est réalisée au moyen de garnitures spéciales, formées de cuirs emboutis, et

tenues à bonne distance des parties chaudes de la machine; les fuites qui pourraient se produire sont réparées au moyen d'une petite soupape, qui s'ouvre et laisse entrer un peu d'air, quand la pression minima descend au-dessous de celle de l'atmosphère. La mise en marche est des plus simples : on allume le feu; quand la machine est chaude, on donne un tour au volant, et l'appareil se met en mouvement; il suffit ensuite de jeter de temps à autre dans le foyer une pelletée de coke, et de tenir les articulations graissées; quand la résistance augmente, le mouvement se ralentit; il en est de même quand l'activité du feu diminue : les passages plus ou moins rapides de l'air, à travers le régénérateur et le long des surfaces chaudes ou refroidies, modifient la transmission de la chaleur, et assurent une régularité de marche pratiquement suffisante. Pour arrêter, on ouvre un robinet, qui met l'intérieur de la machine en communication avec l'atmosphère.

Cette machine est, paraît-il, fort employée dans les fermes isolées, aux États-Unis, pour pomper l'eau dont les familles américaines font un usage si abondant; la facilité de conduite et d'entretien, l'absence de tout danger, la rendent précieuse dans les ménages. Elle est beaucoup plus simple, comme organes, que celles de Hock ou de Brown, mais elle ne saurait marcher sans eau froide, ce qui peut, dans bien des cas, en limiter les applications; la marche est régulière et absolument silencieuse; quant à la consommation de combustible, on n'a pas de données précises sur ce point.

Nous arrivons actuellement aux machines dans lesquelles on s'est efforcé d'aborder les températures élevées. Ce moyen d'améliorer le rendement mécanique du combustible est certainement fort puissant. Ainsi nous avons vu qu'avec les températures ordinairement en usage, il est impossible qu'une machine à vapeur, si parfaite qu'on puisse la supposer, rende en travail plus du quart de l'énergie représentée par la chaleur développée dans le foyer. Si, au contraire, on fait agir l'air aux températures élevées résultant de la combustion, le rendement mécanique de la chaleur qui lui est communiquée peut atteindre théoriquement le chiffre de 3/4, et même des valeurs plus élevées.

Malheureusement, à ces températures, les matériaux constituant les organes de la machine seraient rapidement détruits. On a tourné la difficulté en refroidissant le cylindre par une circulation d'eau, et en faisant agir les gaz chauds pendant un temps très court : le combustible est introduit dans le cylindre sous forme gazeuse et mélangé à l'air qu'il doit échauffer; au moment voulu, ce mélange est allumé, une explosion se produit, et les gaz, à haute pression et à température élevée, agissent par leur détente sur le piston, en produisant le travail moteur.

Tel est, sauf rares exceptions, le principe de toutes les machines qui emploient comme combustible le gaz d'éclairage : ce sont des machines à explosion. Le prix du gaz d'éclairage oblige à en ménager la dépense, et, par conséquent, à recourir aux températures élevées.

L'idée des machines à explosion n'est pas nouvelle; sans compter le canon, véritable machine de cette nature, dans laquelle l'énergie renfermée dans la poudre est transformée en force vive du projectile, machine arrivée de nos jours à un état de perfection très élevé, même au point de vue du rendement dynamique de la chaleur, rappelons qu'il y a deux siècles, antérieurement aux premières applications de la puissance motrice de la vapeur, l'illustre Huyghens proposait d'employer l'explosion d'une certaine quantité de poudre de guerre, pour produire le mouvement d'un piston dans un cylindre; que, dès le commencement du siècle actuel, Philippe Lebon signalait le parti qu'on pouvait tirer du nouvel agent d'éclairage, dont il cherchait à vulgariser l'usage, pour produire de la force motrice. L'idée de Lebon sommeilla pendant plus d'un demi-siècle, puis fut remise au jour et pratiquement réalisée, il y a environ vingt ans, par deux inventeurs aussi ingénieux que persévérants : Hugon et Lenoir, opérant par des procédés différents, produisirent l'un et l'autre des machines à gaz d'éclairage, qui eurent un grand succès et se répandirent rapidement. Les nombreux perfectionnements apportés à ces machines par d'autres inventeurs ont eu surtout pour objet de diminuer la dépense de gaz, qui est importante, même pour de petites forces, de simplifier les organes, de rendre le fonctionnement plus sûr et la conduite plus facile.

Gr. VI. — Cl. 54.

Les machines à gaz que nous avons en vue remplissent bien trois des conditions essentielles d'un rendement considérable : la température initiale est élevée, la communication de la chaleur au fluide agissant est complète, les pertes par frottement ne sont pas trop fortes; mais la dernière condition est imparfaitement satisfaite, la chute de chaleur disponible est mal utilisée, beaucoup plus mal que dans les machines à air chaud munies d'un régénérateur de chaleur, beaucoup moins bien aussi que dans les machines à vapeur ordinaires.

Mais la supériorité de la machine à gaz sur la machine à vapeur, quant aux deux premières conditions, lui assure un rendement mécanique bien plus avantageux; le travail mécanique correspondant à une calorie est plus élevé; et cela est tellement vrai que, à ce point de vue, d'humbles moteurs à gaz de 1 ou 2 chevaux soutiennent la comparaison avec les moteurs à vapeur les plus puissants et les plus perfectionnés que l'on ait construits jusqu'ici, et même l'emportent haut la main.

Dans les machines à gaz, la déperdition d'effet utile est due à deux causes principales :

En premier lieu, quoique les gaz chauds ne restent que pendant un temps très court en contact avec les parois refroidies du cylindre, il y a communication de chaleur notable par suite de ce contact; le métal s'échauffe ainsi que l'eau de circulation, et la chaleur ainsi dispersée est en grande partie perdue pour le résultat dynamique. En second lieu, le cycle des opérations successives que parcourt le fluide est très loin d'être parfait; les augmentations et diminutions alternatives de pression et de température se succèdent, dans des conditions qui s'éloignent considérablement de celles que la théorie indique comme les meilleures. Il en résulte que les gaz sont encore très chauds à l'échappement.

Les inventeurs se sont efforcés d'atténuer ces deux causes de perte. Pour diminuer les effets de la première, l'artifice qui a donné jusqu'ici les meilleurs résultats consiste à imprimer au piston une grande vitesse. Quant à l'amélioration du cycle ou à l'utilisation plus complète de la chaleur à l'échappement, divers moyens

plus ou moins efficaces ont été proposés, sur lesquels nous aurons à revenir.

Dans la machine à gaz de Lenoir, l'inflammation du mélange explosif est déterminée par une étincelle électrique produite, au moment voulu, par un courant d'induction.

A ce système on préfère généralement aujourd'hui celui proposé par M. Hugon : le tiroir de distribution contient une cavité, dans laquelle débouche un petit orifice, qui y verse du gaz; ce jet de gaz s'allume en passant devant un bec fixe, qui brûle constamment; le tiroir continuant son mouvement, le jet de gaz enflammé pénètre dans le cylindre et y détermine l'explosion du mélange détonant; cette explosion éteint le jet, qui vient ensuite se rallumer au contact du bec fixe, dans le mouvement rétrograde du tiroir.

Ces deux organes, bec fixe toujours allumé et bec mobile, alternativement en relation avec le bec fixe et avec le mélange explosif, se retrouvent, plus ou moins modifiés dans leurs détails, dans presque toutes les machines à gaz de l'Exposition.

Nous allons rapidement décrire les principales.

La Compagnie parisienne du gaz expose des machines du système Lenoir, lequel a déjà figuré aux diverses expositions, depuis celle de Londres en 1862.

M. Hugon expose des spécimens de diverses dimensions de sa machine à gaz; il a introduit récemment dans la distribution des perfectionnements sérieux, qui ont eu pour résultat d'abaisser notablement la consommation du gaz.

C'est aux études habiles et persévérantes de ces deux inventeurs que l'on doit la plupart des organes et des combinaisons qui ont fait passer la machine à gaz dans le domaine de la pratique. Nous ne décrirons pas plus en détail leurs machines, qui sont fort connues.

Néanmoins, des améliorations importantes ont été apportées à ces premières machines, dans le but de diminuer la dépense de gaz, et, parmi ceux qui semblent avoir travaillé avec le plus de succès dans cette direction, il faut mentionner M. Otto, de Deutz, près Cologne.

Gr. VI. — Cl. 54.

Cet ingénieur s'est attaché principalement à cette idée, d'atténuer les déperditions de chaleur dues au contact avec le cylindre refroidi, en donnant au piston une grande vitesse pendant la détente des gaz chauds.

Dans une machine, inventée il y a plusieurs années par MM. Otto et Langen, et exposée par la Compagnie parisienne du gaz, cette vitesse est obtenue par un moyen fort original : le cylindre est vertical, la tige du piston est mise en relation avec l'arbre du volant, au moyen d'un système de crémaillères, de rochets et de roues dentées, qui n'agit que pendant la descente du piston, et laisse le piston entièrement libre pendant sa montée. Au moment de l'explosion, le piston est lancé de bas en haut, comme un projectile, et avec une grande vitesse; la pression des gaz s'abaisse beaucoup par cette rapide détente; il se forme sous le piston un vide relatif, et celui-ci, pressé par l'atmosphère, commence à descendre lentement, en mordant sur la transmission de l'arbre du volant; c'est dans cette période que se produit le travail, augmenté par l'action réfrigérante de la circulation d'eau, qui s'exerce pleinement par l'effet de la lenteur du mouvement de descente, et produit ainsi un vide très notable. Cette machine a donné, comme consommation de gaz, des résultats fort remarquables, et qui n'ont guère été surpassés. Mais elle est bruyante, et le système d'encliquetage du piston avec le volant constitue un mécanisme assez délicat.

M. Otto a repris la question et imaginé une nouvelle machine qui a eu un grand succès au palais du Champ de Mars; elle était exposée par la Compagnie parisienne du gaz, par les maisons Périn, Panhard et Cie, de Paris, et Fétu et Deliège, de Belgique; de plus la même machine servait à activer plusieurs des ateliers, dans la galerie des machines et dans celle du travail.

La nouvelle machine d'Otto est combinée de manière à occuper peu de place, par conséquent elle travaille sous de fortes pressions; à cet effet, le mélange explosif est comprimé avant d'être enflammé.

La machine est horizontale, à un seul cylindre, à simple effet. La tige du piston est reliée par une bielle à la manivelle d'un

arbre de couche, qui tourne à grande vitesse. Toutes les opérations se passent successivement dans le cylindre, et le cycle complet embrasse deux révolutions de l'arbre de couche; voici dans quel ordre ces opérations se succèdent :

Première excursion du piston (directe) : le mélange explosif est aspiré par le piston dans le cylindre;

Deuxième excursion (rétrograde) : le mélange explosif est comprimé dans le fond du cylindre;

Troisième excursion (directe) : production du travail; l'explosion a lieu, et les gaz de la combustion, à haute température et à haute pression, poussent le piston et donnent une nouvelle impulsion au volant;

Quatrième excursion (rétrograde) : l'échappement s'ouvre, et les gaz brûlés sont déchargés dans l'atmosphère.

On voit que, sur quatre excursions du piston, il n'y en a qu'une, la troisième, qui donne du travail; la première et la quatrième n'en absorbent que fort peu; la deuxième, dans laquelle le mélange explosif est comprimé, exige au contraire une dépense assez notable de travail mécanique.

Dans cette machine, le volant joue donc un rôle capital : il doit être assez puissant pour que la marche ne soit pas trop irrégulière, malgré les irrégularités considérables du moment moteur. C'est pour cela que l'on a donné à la machine une allure très rapide, 160 à 180 tours, qui s'accorde fort bien d'ailleurs avec la grande vitesse imprimée au piston pour atténuer les déperditions de chaleur.

La figure (fig. 41) ci-dessous représente la nouvelle machine d'Otto.

A, cylindre; B, arbre de couche; CC, arbre de distribution, lequel, commandé par l'engrenage d'angle D, fait seulement un tour quand l'arbre de couche en fait deux; EE, tiroir plat, glissant entre la glace F du cylindre et la plaque fixe G, pressée par des ressorts; ce tiroir est mû par la manivelle *a* et la bielle *ab;* H, soupape d'échappement, à laquelle le mouvement est communiqué par l'excentrique à onde *c; d,* bec fixe d'inflammation; l'admission du gaz est réglée par le manchon à bosse *f,* qui peut se

Gr. VI. — Cl. 54.

déplacer sous l'influence du régulateur centrifuge K; LL, circulation d'eau froide.

Cette machine travaille silencieusement; au moment de l'explosion, la bielle est déjà en compression, de sorte qu'il ne se pro-

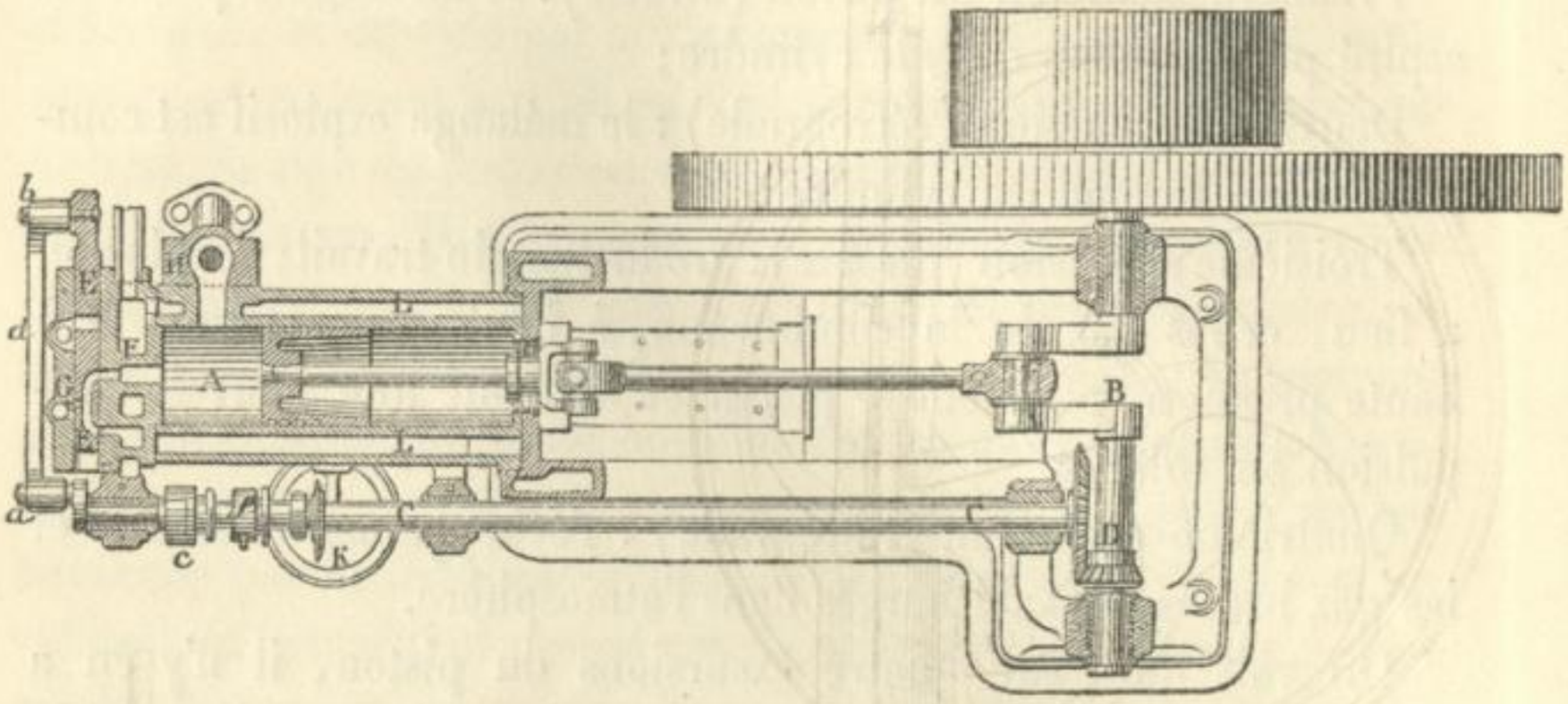


Fig. 41. — Machine à gaz d'Otto.

duit pas de choc; des réservoirs sont placés sur l'aspiration et sur l'échappement, pour atténuer le bruit des courants gazeux; des graisseurs continus sont disposés sur les pièces exposées à chauffer. Le régulateur à force centrifuge agit sur le manchon qui commande l'admission du gaz; dès que la vitesse dépasse une limite donnée, l'admission du gaz est supprimée : c'est ainsi que, dans la marche à vide, il se produit souvent huit ou dix révolutions, avant qu'une nouvelle explosion vienne restituer au volant la vitesse progressivement absorbée par les frottements.

La consommation de gaz pour les grands modèles descend, paraît-il, à moins de 1 mètre cube par heure et par force de cheval[1]; on est cependant d'accord pour considérer cette machine comme donnant lieu à une consommation un peu plus forte, à égalité d'effet, que l'ancienne machine d'Otto et Langen; cette infériorité de rendement s'explique par la moindre vitesse du piston et par un cycle d'opérations moins favorable.

[1] Au point de vue de la puissance dynamique de la chaleur, cette consommation serait équivalente à celle d'une machine à vapeur brûlant par heure et par cheval environ deux tiers de kilogramme de bonne houille.

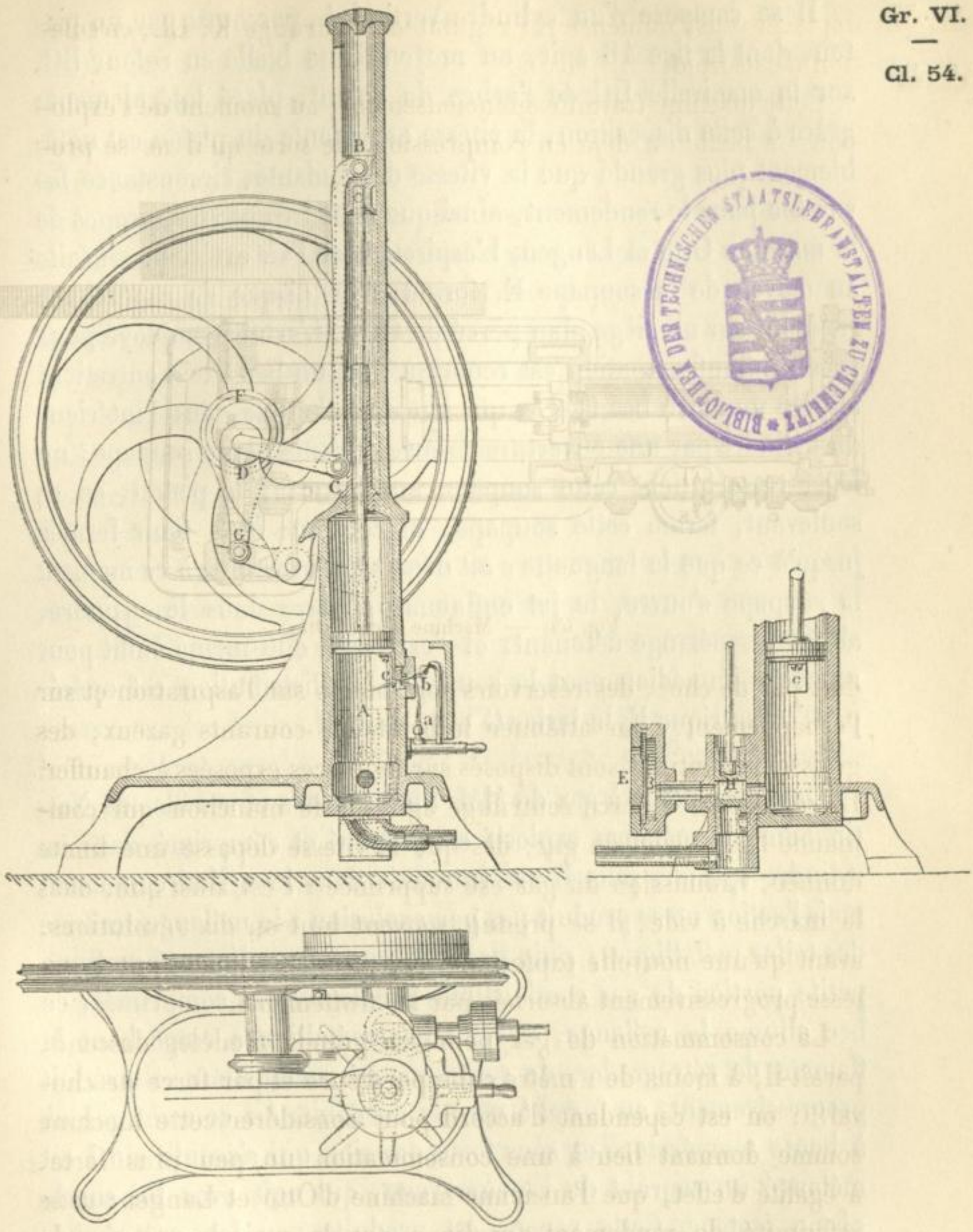


Fig. 42. — Machine à gaz de Bisschop.

La maison Mignon et Rouart, de Paris, expose un petit moteur à gaz imaginé par M. de Bisschop, et qui est remarquable par la sûreté de sa marche et par l'excellente entente des détails (fig. 42).

Gr. VI. — Cl. 54.

Il se compose d'un cylindre vertical A, parcouru par un piston, dont la tige AB agit, au moyen d'une bielle en retour BC, sur la manivelle DC de l'arbre du volant, placé latéralement; grâce à cette disposition, la vitesse ascendante du piston est notablement plus grande que la vitesse descendante, circonstance favorable pour le rendement, ainsi que nous l'avons vu à propos de la machine Otto et Langen. L'aspiration de l'air extérieur est faite au moyen de la soupape E, formée d'un disque de caoutchouc reposant sur un siège plan percé de trous. L'artifice employé pour produire l'inflammation est remarquable; un bec fixe *a* entretient allumé un autre bec fixe *b*, qui lance sa flamme dans l'intérieur du cylindre par une ouverture fermée par une petite soupape; un léger ressort tient cette soupape entr'ouverte; le piston, en se soulevant, ferme cette soupape, et continue à la tenir fermée jusqu'à ce que la languette *c* ait dépassé l'ouverture; à ce moment la soupape s'ouvre, le jet enflammé pénètre dans le cylindre, allume le mélange détonant, et l'explosion elle-même suffit pour refermer immédiatement la soupape. La distribution est opérée par l'excentrique F, le levier G et le tiroir H.

Dans le moteur à gaz de MM. Simon Louis et ses fils, de Nottingham, le mélange explosif est préparé et comprimé dans un cylindre spécial, puis il est introduit dans le cylindre moteur; mais l'action ne se produit pas par explosion : le mélange traverse des toiles métalliques, puis passe sur un bec, alimenté par une petite portion de gaz combustibles préalablement comprimés; ce bec allume le mélange, et les toiles métalliques empêchent la flamme de rétrograder, de sorte que la combustion se produit progressivement, au fur et à mesure du débit. Au courant gazeux à haute température et sous forte pression qui s'écoule ainsi est mélangé un courant de vapeur d'eau, qui agit avec lui sur le piston moteur. Cette vapeur est produite par les gaz chauds d'échappement parcourant les circuits d'un petit générateur, alimenté par l'eau qui a circulé successivement autour du cylindre compresseur et du cylindre moteur. La machine dont il s'agit est donc en réalité une machine mixte, à air chaud et à vapeur d'eau;

elle rappelle le fonctionnement de la machine de Pascal, modification de celle de Belou, et dans laquelle on se servait, comme fluide moteur, d'un mélange de vapeur d'eau et de gaz comprimé, obtenu en injectant des filets d'eau au-dessus du combustible brûlant sous pression.

Le moteur Simon s'éloigne donc beaucoup de ceux que nous avons précédemment décrits; il est moins simple, et, de plus, le fluide moteur actionne le piston à une température bien moins élevée; mais il présente l'avantage d'agir sans explosion. L'appareil exposé, fort intéressant en lui-même, représentait une étude déjà avancée; mais il avait besoin encore de perfectionnements de détail pour passer à l'état de machine tout à fait pratique et industrielle.

Il y avait encore à l'Exposition un certain nombre de machines se rapprochant plus ou moins de celles que nous venons de décrire. M. E. Dusaulx, de Paris, se sert d'essence comme combustible; il est certain que, sans les droits énormes qui pèsent en France sur les huiles minérales, l'essence donnerait la chaleur à bien meilleur marché que le gaz d'éclairage; d'ailleurs il n'existe pas partout des distributions de gaz, et l'emploi du pétrole ou de ses dérivés pour produire de petites forces motrices peut donner lieu à de nombreuses et utiles applications. L'idée primitive de M. Dusaulx est donc juste en elle-même; l'examen de la machine qu'il expose dénote d'ailleurs des recherches sérieuses et un esprit ingénieux.

Mentionnons, pour terminer, la remarquable expérience de M. Mouchot, qui concentre, au moyen d'un vaste réflecteur, la chaleur du soleil sur une petite chaudière, laquelle met en mouvement une machine à vapeur microscopique. Il n'y a là, jusqu'à présent, qu'une expérience de physique. L'inventeur espère tirer de cette idée un parti utile et pratique dans les climats chauds de la zone torride.

Résumons en quelques mots l'état actuel de cette grosse ques-

Gr. VI. — Cl. 54.

tion des moteurs à air chaud, tel que nous le montre la revue rapide que nous venons de faire. Ce qui frappe tout d'abord, c'est l'abandon à peu près complet des idées ambitieuses de Belou, d'Ericsson, etc. On ne demande plus à la machine à air chaud de produire des puissances considérables, en dépensant peu de combustible : ce rôle est réservé aujourd'hui à la machine à vapeur; l'air chaud ne sert qu'à faire mouvoir des machines de petite force, et le but poursuivi est avant tout la commodité d'emploi, la facilité de conduite.

Jusqu'à quel point ce problème d'un ordre tout à fait pratique est-il résolu?

Plusieurs des machines que nous avons examinées, chauffées soit au coke, soit au gaz, donnent d'une manière satisfaisante la solution désirée. La plupart exigent une circulation assez abondante d'eau froide, ce qui, dans certains cas, peut devenir une sujétion fort grave; d'autres, surtout pour les petites forces, n'ont pas besoin d'eau réfrigérante. Presque toutes fonctionnent sans bruit, ce qui n'est pas un avantage à dédaigner. Quelques-unes sont d'une simplicité d'organes qui en fait de véritables moteurs domestiques.

On peut dire que dès aujourd'hui la machine de ménage existe, c'est-à-dire une machine produisant une petite force, ne présentant aucun danger, pouvant s'installer n'importe où, se mettant en marche promptement, fonctionnant sûrement et sans bruit, et n'exigeant ni soins trop délicats, ni surveillance trop assidue.

Nous avons dit que, pour les faibles puissances, la dépense de combustible est une question un peu secondaire; néanmoins cette question vient s'imposer avec force, quoique d'une manière indirecte, dans tous les cas, et en particulier pour les machines chauffées au gaz. Les inventeurs ont dû s'en préoccuper; de là un ensemble de recherches poursuivies avec ardeur, qui fournissent chaque jour des notions nouvelles plus étendues et plus précises sur nombre de questions encore peu connues. Peut-être n'est-il pas téméraire de penser que les petits moteurs que nous étudions pourront préparer la voie à des appareils plus considérables, tels que les avaient rêvés les premiers promoteurs des machines calo-

riques. Déjà le principal obstacle qui a fait échouer ces tentatives anciennes peut être considéré comme surmonté : nous voulons parler de l'ignorance des phénomènes dont les fluides élastiques sont le siège, phénomènes fort obscurs il y a quelques années et aujourd'hui bien élucidés. On sait de nos jours ce que l'on a à chercher, ce qu'il faut éviter, les limites entre lesquelles le succès peut être espéré; le champ des investigations est ainsi éclairé et défini, et c'est là un progrès dont on ne peut méconnaître la haute importance.

A un autre point de vue, la pratique des petits moteurs n'a pas été sans donner des enseignements fort utiles; les études assidues, auxquelles se sont livrés les constructeurs, pour surmonter les difficultés que présente le maniement des gaz à haute température, ont amené des solutions nouvelles, des connaissances précieuses.

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que la construction mécanique moderne est fondée en grande partie sur l'usage de la vapeur comme fluide moteur. En passant à l'état gazeux, l'eau liquide augmente de volume dans une proportion énorme, et par conséquent développe un travail considérable; c'est pour cela que, lorsque la nécessité s'est imposée de remplacer les moteurs animés par une puissance mécanique, c'est à la vapeur d'eau que se sont exclusivement adressés les Papin, les Savery, les Newcomen, les Watt. Puis la période de perfectionnement est arrivée à son tour, mais les méthodes de construction ne sont pas sorties de la voie tracée par ces illustres maîtres; et, pendant de longues années, c'est toujours en vue de l'usage de la vapeur d'eau que leurs successeurs ont amélioré un à un tous les organes, établi le choix et la fabrication des matériaux, l'art de les travailler et de les mettre en œuvre, celui de faire des joints étanches, tant entre pièces fixes qu'entre pièces mobiles, les dispositifs d'ensemble, les dessins et dimensions de détail, etc. etc. Il y a là une masse de recherches colossale, un édifice immense dont l'érection a exigé un siècle de travail.

Pour pouvoir substituer à la vapeur d'eau un autre fluide, possédant des propriétés différentes et agissant à des températures plus élevées, il faut reprendre et étudier à nouveau tous les élé-

Gr. VI. — Cl. 54.

ments de cette œuvre considérable; un grand nombre des données anciennes pourront sans doute être utilisées dans la machine nouvelle; mais la tâche à accomplir reste encore d'une formidable étendue.

Eh bien, les petits moteurs aideront et ont déjà aidé à la remplir; le chemin parcouru depuis quelques années est fort important; on connaît, bien mieux que par le passé, les lois de la combustion des mélanges inflammables, les moyens de communiquer rapidement à une masse de gaz une température élevée, ou de la refroidir en quelques instants; on fait des joints qui tiennent bien, même contre l'air à haute pression; l'art important du graissage a fait de notables progrès, etc. etc.

Mais il reste encore beaucoup à faire; et dans la construction de la machine à air chaud, les problèmes d'un ordre purement pratique qu'il faudra résoudre, avant de pouvoir appliquer les indications de la théorie, sont hérissés de difficultés nombreuses. Néanmoins il est permis de penser que cette œuvre de longue haleine sera, un jour ou l'autre, menée à bonne fin. Les meilleurs moteurs à vapeur, comme nous l'avons vu, ne rendent sous forme de travail que 8 à 9 p. o/o de la chaleur contenue dans le combustible qu'elles consomment. Espérons que la machine motrice de l'avenir laissera bien en arrière ce chiffre limite, qui semble dérisoire, à considérer le haut degré de perfection atteint de nos jours par l'art des constructions mécaniques, et qui cependant n'a été jusqu'ici dépassé que dans les petits moteurs à explosion.

SECTION II.

MOTEURS ÉLECTRIQUES ET AUTRES.

Sommaire. — Objet de la section.

Emploi de l'homme comme moteur. — Baromoteur de Bozérian. — Pédale magique de Bourdin. — Moteurs à ressort. — Appareil de Schreiber.

Moteurs électriques. — Rendement de ces moteurs. — Machines de Miquel, de Puvilland, de Cance.

Dans la présente section, nous examinerons les machines empruntant leur puissance motrice à la force musculaire de l'homme ou à l'électricité.

Malgré les merveilleux progrès réalisés par la machinerie moderne, les moteurs animés sont encore les plus répandus, et de longtemps sans doute ils ne cesseront pas de l'être. En dépit de tous leurs efforts et de tout leur talent, nos ingénieurs ne sont pas parvenus à produire une machine approchant même de loin, comme perfection et comme souplesse, de cette œuvre admirable de la nature, la machine humaine, qui à volonté, sur un signe, sur un mot, pousse ou tire, monte ou descend les fardeaux, les transporte au loin par tous les chemins, à toutes les hauteurs, sous tous les climats, travaille dans toutes les directions et suivant les trajectoires les plus compliquées.

A ne considérer l'homme que comme une machine, transformant en travail mécanique l'énergie calorifique contenue dans ses aliments, on arrive à ce résultat digne de remarque, que cette machine laisse bien loin derrière elle les machines thermiques les plus parfaites qu'on ait construites jusqu'à ce jour. Le manœuvre qui, pendant des heures entières, tourne à la manivelle ou monte des escaliers, a développé au bout de sa journée un travail considérable; si l'on compare ce travail à la faible quantité de chaleur que pourraient donner, par leur combustion, les maigres repas dont il s'est nourri, on trouve un rapport bien plus élevé que celui

Gr. VI. — Cl. 54.

obtenu en divisant le travail d'une machine à vapeur par la chaleur dégagée dans son foyer. Ce calcul peut être établi sur les données les plus vulgaires; il n'est pas besoin de rappeler qu'il a été vérifié par les expériences précises de M. Hirn, qui s'est assuré directement qu'au travail extérieur produit correspond la disparition d'une quantité de chaleur proportionnelle, et a démontré ainsi une fois de plus la grande loi de l'équivalence entre le travail et la chaleur, le premier des deux principes fondamentaux de la thermodynamique.

Il est bien remarquable que, dans les mêmes moteurs, le second principe fondamental de cette science ne semble nullement vérifié; dans une machine thermique ordinaire, il ne peut y avoir production de puissance qu'autant que le corps qui travaille est soumis à des variations de température, qui font varier sa tension et son volume; et, toutes conditions égales, plus ces variations sont étendues, plus le rendement mécanique est élevé. Dans la machine humaine, la température varie pendant le travail; un muscle qui se contracte ou s'étend se refroidit ou s'échauffe. Mais ces variations sont extrêmement restreintes, et sensibles seulement aux thermoscopes les plus délicats; il semblerait donc, en vertu du principe en question, que le rendement dynamique devrait être très faible. Or, il n'en est pas ainsi; la proportion de chaleur transformée en travail est au contraire fort notable, et bien plus élevée que dans les autres machines thermiques, qui travaillent cependant entre des températures très écartées. Le second principe de la science de la chaleur cesse donc d'être vrai pour la machine humaine. Il se passe, dans l'intimité des organes vivants, des phénomènes mystérieux, qui ont échappé jusqu'ici à l'analyse, et qui paraissent être d'une essence différente de ceux dont les autres corps matériels sont habituellement le siège. Nous verrons tout à l'heure d'autres exceptions également importantes au principe dont il s'agit. Ces problèmes obscurs n'ont été jusqu'ici que fort peu étudiés; ils ont dérouté quelques rares chercheurs, et ce champ immense qui s'ouvre aux investigations scientifiques est encore presque vierge.

Sans même aller jusqu'à la recherche des causes profondes,

s'est-on du moins occupé, dans un ordre d'idées bien plus modeste et plus pratique, de tirer un meilleur parti de la force musculaire de l'homme, de chercher à lui faire produire davantage et à meilleur compte? La question semble digne d'intérêt; il n'est pas une seule industrie qui ne fasse de l'homme et de ses bras un usage incessant, et le moindre perfectionnement dans cette direction aurait une importance incalculable. Eh bien, il faut bien le constater, notre époque moderne, si fière à juste titre de ses connaissances, n'est pas à cet égard beaucoup plus avancée que l'antiquité; le travail de l'homme est recueilli par les mêmes procédés, à peu de chose près, que chez les peuples barbares. Quant aux données précises et exactes, on en est réduit à un petit nombre d'expériences anciennes et douteuses, qu'on ne s'est guère donné la peine de renouveler.

Disons cependant que quelques savants distingués ont pris en main ces questions obscures, et s'efforcent d'y apporter un peu de la lumière qui jusqu'ici y fait presque complètement défaut.

Quant à l'Exposition, elle est, sur ce sujet, d'une pauvreté déplorable. Nous allons nous hâter de citer un des rares exemples, peut-être le seul qu'elle présente, de recherches sérieuses dans cette direction. Nous voulons parler du baromoteur de M. G. Bozérian.

L'auteur est parti de ce principe, inscrit dans un grand nombre d'ouvrages, que le meilleur moyen d'utiliser les forces musculaires de l'homme, c'est de l'employer à élever son propre poids, dans les conditions ordinaires de l'ascension sur les degrés d'un escalier.

L'appareil se compose de deux pédales mobiles, qui, sous l'impulsion qui leur est donnée, s'abaissent et s'élèvent alternativement; l'ouvrier se place debout sur ces pédales, un pied sur la pédale d'avant qui est plus élevée, l'autre sur la pédale d'arrière; il prend en main un levier. En donnant à ses pieds un mouvement d'oscillation verticale, et au levier un mouvement d'oscillation horizontale, il détermine ainsi la rotation d'un arbre de couche avec volant, sur lequel la force motrice peut être prise à volonté. Cet appareil est assez simple comme construction; le

Gr. VI. — Cl. 54.

jury n'a eu sous les yeux aucun document suffisant pour en apprécier avec précision la valeur pratique. D'autre part, l'idée appliquée ici n'est peut-être pas entièrement nouvelle.

Tel est le maigre contingent apporté par l'Exposition à la solution de l'importante question qui nous occupe. Que M. Bozérian l'ait ou non résolue, tout au moins a-t-il le mérite incontestable d'être seul à l'avoir abordée.

Nous allons passer à l'examen d'un certain nombre d'appareils, dont le but, beaucoup plus modeste, ne laisse pas que de présenter un intérêt sérieux : il s'agit de supprimer ou d'atténuer certains inconvénients graves, que présente l'usage habituel de la machine à coudre. La puissance mécanique absorbée par une machine à coudre ordinaire est très petite : elle ne dépasse pas une fraction de kilogrammètre par seconde; mais, si faible que soit ce travail, l'action musculaire qui sert à le produire s'exerce dans des conditions tellement défavorables, qu'il en résulte promptement une fatigue excessive; les piqueuses à la machine sont exposées à des désordres organiques, entraînant assez fréquemment des affections douloureuses, qui ont appelé plus d'une fois l'attention des hygiénistes.

Dans le mode de transmission ordinaire, la pédale est reliée à l'arbre du volant de la machine à coudre par une bielle et une manivelle; le pied de l'ouvrière doit suivre tous les mouvements de la pédale résultant de ce mode de liaison; l'action de soulever rapidement le pied semble particulièrement fatigante, et peu en rapport avec les fonctions ordinaires de l'organisme humain.

M. A. Bourdin s'est proposé, non pas de supprimer la pédale, mais d'en atténuer les inconvénients. Sa pédale magique conduit une corde, qui s'enroule sur une poulie à gorge, folle sur l'arbre du volant, et lui imprime un mouvement alternatif de rotation; un système d'encliquetage spécial rend solidaires l'arbre et la poulie à gorge lorsque celle-ci marche en avant, et laisse au contraire la poulie entièrement libre dans son mouvement rétrograde. Cet embrayage est constitué par deux manchons concentriques; l'un est lisse et fait corps avec l'arbre, l'autre est fixé à la poulie,

et porte des plans inclinés; dans la rainure existant entre les surfaces des manchons sont placées des balles de caoutchouc. Dans le mouvement direct de la poulie, ces balles sont coincées par les plans inclinés et entraînent l'arbre; dans le mouvement rétrograde, elles se dégagent et cessent d'agir. Un dispositif se rapprochant beaucoup de celui qui vient d'être décrit est employé, depuis quelques années, dans les machines à gaz d'Otto et Langen; mais les balles en caoutchouc donnent à l'encliquetage de M. Bourdin une douceur extrême, qui répond de la manière la plus satisfaisante aux conditions posées.

Avec la pédale de M. Bourdin, l'ouvrière donne de temps à autre une impulsion au volant, sans être obligée de suivre avec le pied les mouvements précipités d'une manivelle, et de se livrer à cette gymnastique exagérée, si ruineuse pour la santé. Il y a dans cet appareil une analyse très fine des données du problème, et une solution mécanique fort ingénieuse; quant à la valeur pratique de ces combinaisons, il faudrait des expériences de très longue durée pour pouvoir l'apprécier avec certitude.

D'autres constructeurs ont abordé la question par une voie toute différente : ce qui est nuisible, c'est la continuité de ce mouvement brusque et malsain du pied de l'ouvrière. Voici comment on a cherché à tourner la difficulté : l'ouvrière agit sur une manivelle pendant quelques minutes, pour tendre un grand ressort en acier; le travail ainsi emmagasiné est ensuite dépensé, pour faire marcher la machine à coudre pendant un temps plus ou moins long; lorsque le ressort est détendu, il faut le charger d'une nouvelle provision de force motrice.

On voyait à l'Exposition une machine de MM. Schreiber, Salomon et Cie, de Vienne (Autriche), construite d'après ce principe, et fort bien conçue et exécutée, ainsi que plusieurs autres analogues, mais moins bien entendues.

Cette manière de poser la question est sans doute fort séduisante : on substitue au travail malsain de la pédale le remontage à la manivelle, fait à loisir et dans de bonnes conditions hygiéniques. Il paraît cependant fort douteux que les machines dont il

Gr. VI. — Cl. 54.

s'agit entrent d'une manière courante dans la pratique. Remarquons tout d'abord que le travail accumulé dans le ressort n'est pas à beaucoup près restitué intégralement : sans parler des frottements inévitables et fort importants dans un mécanisme de cette nature, qui comporte des engrenages nombreux, tous ces appareils sont munis d'un frein, destiné à régler la vitesse de la machine; ce frein absorbe du travail en pure perte, et en absorbe une fraction considérable. La puissance emmagasinée est donc forcément bien supérieure à celle qui peut être utilisée.

Or, l'acier ne peut recevoir qu'une quantité de travail assez limitée; bien que la force motrice nécessaire pour mouvoir une machine à coudre soit fort petite, on ne pourra échapper à un double inconvénient : d'une part, les remontages seront assez fréquents; d'autre part, le ressort devra être très puissant, c'est-à-dire que la machine sera fort chère. Ce dernier point surtout est vraiment grave: pour le travail dans les ateliers, où un grand nombre de machines à coudre sont réunies, l'un quelconque des moteurs mécaniques aujourd'hui en usage, et qui donnent la force motrice à si bon compte, a bien des chances d'être préféré. Quant au travail en chambre, le prix élevé du moteur à ressort semble devoir être le plus souvent un obstacle insurmontable; les pauvres ouvrières qui piquent à la machine n'ont guère les moyens d'acheter à grands frais un appareil qui n'a pour résultat que de leur épargner de la fatigue; elles économisent moins leurs peines que le peu d'argent dont elles disposent, et dont elles ont si grand besoin, et se refuseront le plus souvent le luxe d'une dépense immédiate et considérable, sauf à courir les risques de la maladie qui sont douteux et éloignés.

L'Exposition présentait quelques moteurs électriques pour machines à coudre, et cette solution mérite d'être examinée.

Les moteurs dont il s'agit se composent d'électro-aimants, animés par l'électricité dégagée par une pile; un distributeur convenablement agencé lance au moment voulu un courant électrique; la force d'attraction momentanée ainsi produite détermine le mouvement de diverses pièces, qui, à leur tour, transmettent le travail,

au moyen d'organes mécaniques, à un arbre de couche animé d'un mouvement de rotation continu.

Si l'on rapproche les deux extrémités de cette chaîne un peu complexe, on voit, d'une part, le zinc de la pile se consommer et disparaître dans le liquide, d'autre part la force motrice apparaître sur l'arbre de couche; il y a corrélation intime entre la quantité de zinc dissoute et la quantité de travail produite : le zinc est le combustible de la machine électrique, comme la houille est le combustible de la machine à vapeur; une partie de la chaleur qu'il dégage en se combinant avec l'oxygène est transformée en travail mécanique. Des expériences précises ont établi en effet que, lorsque la dissolution du zinc est accompagnée d'un travail extérieur, produit par l'électricité résultant de cette réaction, elle dégage moins de chaleur que lorsqu'il n'y a pas de travail produit, et que la différence est précisément équivalente à la quantité de travail développée.

Un moteur électrique est donc une machine thermique, et, à certains points de vue, il est de beaucoup supérieur aux autres moteurs, qui empruntent à la chaleur le principe de leur mouvement. Nous avons vu en effet que les machines à vapeur les plus parfaites et les plus puissantes ne transforment guère en travail que de 8 à 9 p. o/o de la chaleur renfermée dans le combustible qu'elles consomment. Or, si dans un moteur électrique on compare le travail développé à la chaleur correspondant à la combustion du zinc consommé, le résultat est en général bien plus favorable; il n'est pas rare de trouver des rendements de 10 à 15 p. o/o, quelquefois 20 p. o/o et même plus; et il ne s'agit pas ici de grandes machines donnant des centaines de chevaux, mais de petits moteurs de quelques kilogrammètres à la seconde, dans lesquels les pertes accessoires ont toujours une importance bien plus grande.

Le premier principe de la thermodynamique, celui de l'équivalence entre le travail et la chaleur, est vrai, aussi bien pour ces moteurs que pour les machines thermiques ordinaires. En est-il de même du second principe, celui qui se rapporte aux variations de température? Nous avons pu constater déjà, à propos

Gr. VI. — Cl. 54.

des moteurs animés, une exception à ce principe. Les moteurs électriques nous en offrent une seconde : à un rendement élevé correspond une variation de température presque insensible ; la combustion du zinc se fait dans un liquide froid, et l'effet utile est d'autant meilleur que les diverses parties du circuit que traverse le courant s'échauffent moins. Ce sont là des faits qu'il est bon de signaler, comme caractéristiques des doutes qui s'élèvent aujourd'hui sur la généralité du principe en question, lequel était admis, il y a quelques années, comme démontré pour tous les cas.

Si élevé que soit le rendement thermique des moteurs électriques, ils sont loin d'être, industriellement parlant, des machines économiques : le zinc est un métal extrêmement cher ; tant qu'on n'aura pas trouvé le moyen de produire l'électricité à meilleur marché, on ne pourra songer à l'employer pour la production du travail que dans le cas de forces extrêmement petites. Pour cet usage, les courants électriques présentent un intérêt immense, à cause de leur extrême commodité, de la souplesse et de la légèreté du conducteur, de la facilité avec laquelle on peut les interrompre ou les rétablir. Il suffit à cet égard de citer le télégraphe, qui n'est au fond qu'un moteur développant très peu de force.

Mais dès qu'il s'agit seulement de la puissance minime nécessaire pour faire mouvoir une machine à coudre, la question du prix de revient du travail intervient d'une manière invincible. Aussi convient-il de ne considérer les appareils exposés pour cet objet que comme des tentatives plus ou moins réussies, mais éloignées encore du but à atteindre. Nous nous contenterons de citer ceux qui ont le plus attiré l'attention du jury.

La machine de M. Miquel, de Bordeaux, se compose de deux électro-aimants horizontaux, placés en regard l'un de l'autre, et d'un cylindre de fer doux qui oscille entre leurs pôles ; la pile est à l'hypochlorite de soude et ne répand aucune odeur.

Dans la machine de M. Puvilland, des armatures en fer doux, fixées aux extrémités d'un balancier horizontal, sont attirées par des groupes d'électro-aimants verticaux. Cette machine et la précédente ont été exécutées par leurs auteurs, qui sont ouvriers.

La machine de M. Cance se compose de trois électro-aimants

fixes horizontaux, répartis autour d'un arbre de couche, sur lequel sont implantés des rayons en fer doux, qui, dans leur mouvement, viennent affleurer les bases des électro-aimants; ceux-ci sont constitués par un noyau en fil de fer, disposition à laquelle l'auteur attache de l'importance.

La grave question des petits moteurs domestiques ne semble pas près d'être résolue par le moyen de l'électricité résultant de la combustion du zinc. Il est possible cependant que la solution suive une autre voie, et rien ne démontre qu'on n'arrivera pas un jour à distribuer l'électricité, produite à bon marché par de puissantes machines, comme on distribue aujourd'hui le gaz et l'eau.

CHAPITRE VI.

MACHINES HYDRAULIQUES.

SECTION I.

MACHINES HYDRAULIQUES ÉLÉVATOIRES.

Sommaire. — Objet et divisions.

Pompes à piston. — Dispositions générales et définitions. — Travaux de Girard. — Pistons. — Soupapes. — Pompes Letestu. — Clapets en caoutchouc : Perreaux; *Pulsometer engineering Company.* — Soupapes métalliques. — Soupapes Girard. — Machines élévatoires de Lecouteux et Garnier, de Le Brun, de Hathorn, de Davis, de Cockerill, de Feray. — Pompes de Japy, de Douglas, de Baillet et Audemar, de Donnadieu, de l'*Oscillating pump Company.*

Pompes rotatives. — Généralités. — Pompes à un axe : Système Érémac. — Pompes de Bartrum et Powell, de Thiébault, d'Ortmans. — Pompes à deux axes : Pompes de Moret et Broquet, de Greindl.

Pompes à chapelets et norias. — Norias de l'École du Caire, des douanes chinoises.

Pompes centrifuges. — Généralités. — Pompes de Gwynne (Henry), de Gwynne et Cie, de Dumont, de Harant, de Decœur.

Béliers hydrauliques : de Bollée, de Douglas.

Nous étudierons, dans cette section, les divers appareils qui ont pour objet l'élévation des eaux. Nous laisserons de côté ceux dans lesquels la machine élévatoire est mue par une machine à vapeur, de telle sorte que l'ensemble forme un tout indécomposable; les appareils de cette nature ont été examinés précédemment sous la dénomination de *pompes à vapeur*. Nous n'avons pas non plus à nous occuper des machines élévatoires consacrées exclusivement à des usages spéciaux, telles que les pompes purement agricoles, les pompes à incendie, les pompes à vin ou à bière, qui étaient attribuées, par la classification générale des produits exposés, aux jurys des industries auxquelles elles se rattachent, et non pas au jury de la classe 54.

L'élévation des eaux est obtenue aujourd'hui par des procédés

Gr. VI. — Cl. 54.

extrêmement variés; ce problème, d'une importance si générale, a reçu depuis quelques années un grand nombre de solutions diverses; pour faciliter l'examen, nous les répartirons entre les catégories suivantes :

Les pompes à piston animé d'un mouvement alternatif;
Les pompes rotatives;
Les norias ou chapelets;
Les pompes centrifuges;
Les béliers hydrauliques.

Malgré les perfectionnements importants qui ont été apportés aux divers systèmes de pompes, celles à piston animé d'un mouvement alternatif sont encore préférées dans l'immense majorité des cas.

Lorsqu'il s'agit d'élever de l'eau d'un réservoir à un réservoir supérieur, la pompe peut se placer, suivant les convenances locales, en divers points de la conduite ascensionnelle qui réunit les deux réservoirs. Elle est dite *aspirante* ou *foulante* suivant qu'elle est établie vers le haut ou vers le bas de cette conduite. Il est clair d'ailleurs que la hauteur d'aspiration ne peut qu'être notablement inférieure à celle de la colonne d'eau représentant la pression atmosphérique; la hauteur de refoulement, au contraire, n'a pas de limite théorique. Le plus souvent la pompe n'est placée, ni tout à fait au bas, ni tout à fait au haut de la conduite ascensionnelle; elle a un fonctionnement mixte. Tant que la hauteur totale d'élévation n'est pas grande, cette distinction est à peu près superflue, et tous les systèmes de pompes sont presque équivalents comme effet produit. Mais il est fort loin d'en être de même dans les cas où cette hauteur est un peu forte; le problème à résoudre n'est plus du tout le même, suivant que la pompe doit aspirer d'une hauteur approchant de 10 mètres ou refouler sous une pression élevée, et la construction sera fort différente dans les deux cas.

Les puissantes machines qui sont établies aujourd'hui en grand nombre pour l'alimentation des villes et des canaux résument la plupart des difficultés qui se présentent dans l'élévation des eaux :

la hauteur d'aspiration est généralement assez grande, celle de refoulement presque toujours considérable; en outre, les volumes, souvent énormes, que doivent débiter ces machines, et la grande longueur des conduites sont des causes sérieuses de complication.

Des hydrauliciens distingués ont mis tout leur talent à lutter contre ces problèmes ardus, et de grands progrès ont été réalisés dans ces derniers temps; l'honneur en revient pour une grande part à un ingénieur français, le regretté Girard, dont les patientes et consciencieuses recherches sur la construction des pompes ont modifié bien des idées reçues, et éclairé plus d'un point obscur de l'hydraulique.

Les pompes que nous étudions se composent, comme organes essentiels, d'un piston se mouvant dans un cylindre, et de deux soupapes s'ouvrant dans la direction de l'ascension de l'eau, et dont l'intervalle est en communication avec le cylindre. Souvent le piston est à double effet, et alors il y a deux jeux de soupapes, chacun correspondant à l'un des fonds du cylindre. Examinons les dispositions aujourd'hui en usage pour ces divers organes et les perfectionnements dont ils ont été l'objet.

Le cylindre et le piston se font encore souvent en bois pour les pompes domestiques, le plus ordinairement en bronze, en laiton ou en fonte.

Pour les pompes à faible pression, la garniture du piston est en étoupe ou bien en cuir gras, sous forme de rondelles serrées entre deux plaques métalliques; lorsque la pression est un peu forte, on a recours au cuir embouti de Bramah, plus rarement à des garnitures métalliques, qui se détériorent rapidement quand les eaux sont chargées de sable; le piston est plein, ou bien percé d'une ouverture avec clapet remplaçant le clapet de refoulement; le mouvement lui est transmis par un système quelconque de tiges, de leviers ou de manivelles.

Pour les pompes aspirantes, il serait utile que les espaces nuisibles fussent aussi faibles que possible; mais c'est une précaution qui est habituellement négligée. Pour peu que la longueur de la conduite d'aspiration soit grande, le bas doit être muni d'une *sou-*

Gr. VI. — Cl. 54.

pape de retenue immergée, sans laquelle la pompe se désamorcerait promptement par suite des rentrées d'air inévitables.

Pour les grandes hauteurs de refoulement, les pompes sont presque toujours à piston plongeur, disposition qui permet de visiter et de refaire facilement la garniture; celle-ci est en cuir embouti, ou plus fréquemment en étoupes grasses; le piston est en bronze pour les petits diamètres, en fonte pour les gros.

Il y a quelques années, on s'attachait à donner au piston des grandes machines élévatoires une vitesse très modérée, afin d'éviter les chocs et les remous, qui absorbent en pure perte un travail considérable. Aujourd'hui on ne craint pas de donner au piston des vitesses comparables à celles des pistons à vapeur. On a pu ainsi réduire dans de fortes proportions les dimensions des appareils, sans en diminuer ni la puissance ni le rendement, et simplifier dans une large mesure toutes les transmissions. Ces résultats importants ont été obtenus par une étude attentive des mouvements de l'eau à l'intérieur du cylindre, et des formes qu'il convient de donner aux différents organes pour éviter les pertes de force vive. Le cylindre est d'un diamètre beaucoup plus grand que le plongeur, et celui-ci se termine par des lignes effilées, comme la proue d'un navire; il en résulte que, dans le déplacement du plongeur, les vitesses des molécules d'eau sont sensiblement perpendiculaires à l'axe du cylindre, et beaucoup plus petites que celles du piston; enfin de larges soupapes offrent à l'écoulement des orifices assez grands, pour que le fluide en les franchissant n'y prenne pas des vitesses trop considérables. Ces fortes dimensions des soupapes, comparées au diamètre relativement restreint du plongeur, donnent aux grandes pompes modernes une physionomie caractéristique.

Les soupapes sont des organes assez délicats: pour peu que leur construction ou leur entretien laissent à désirer, elles fonctionnent mal et peuvent donner lieu, non seulement à des fuites et à des pertes de force, mais encore à la rupture de pièces importantes. Une soupape doit se lever sans résistance, sans qu'il y ait entre les pressions qui s'exercent sur ses deux faces une différence notable; elle doit retomber sans choc aussitôt que cette différence est

nulle, et supporter, sans fuites ni déformations, la colonne d'eau qui lui est superposée. Il faut donc qu'elle soit à la fois très légère, très mobile et très résistante, et ces conditions sont souvent contradictoires.

Les soupapes se font de différentes manières : les plus communes sont formées d'une lame de cuir gras, armée de plaques de métal, fixée par une de ses rives et battant sur un siège en métal dressé; les obturateurs de ce genre, qui se lèvent en tournant sur un de leurs côtés, reçoivent plus spécialement le nom de *clapets*. Le clapet de cuir est léger et suffisamment résistant, lorsque la pression n'est pas très grande.

Une des variétés intéressantes du clapet en cuir est celui des pompes Letestu. Les pompes de ce type sont aspirantes et *élévatoires*, c'est-à-dire que le piston porte le clapet supérieur; il est lui-même une véritable soupape; c'est un cône en cuivre fixé à une tige, évasé vers le haut et percé d'un grand nombre de trous; il est doublé d'un cône en cuir, découpé en bandes suivant les génératrices rectilignes, et dont le bord dépasse légèrement celui du cône en cuivre; l'ensemble se meut dans un cylindre vertical, formé d'une simple feuille de cuivre enroulée et soudée sans alésage. Quand ce piston descend, l'eau pénètre par les trous et par le pourtour du cône de cuivre, et soulève les bandes de cuir; quand le piston s'élève, ces bandes sont appliquées par la pression de l'eau à la fois contre les orifices et contre les parois du cylindre, et forment garniture étanche. La construction de la soupape d'aspiration est tout à fait la même que celle du piston. Ces organes légers et rustiques, faciles à réparer et à entretenir, n'exigeant aucun ajustage, rendent les pompes Letestu applicables à tous les cas où la hauteur d'élévation n'est pas grande.

Le caoutchouc en lames est aussi fort en usage; il s'appuie sur des surfaces planes percées d'un grand nombre d'ouvertures; il donne ainsi des clapets fort légers, bien étanches, à grand débit, et qui sont durables quand la matière est de bonne qualité et que la pression n'est pas trop forte.

Diverses maisons, L. Perreaux, de Paris, la *Pulsometer engineering*

Gr. VI. — Cl. 54.

Company, de Londres, etc., présentent des clapets en caoutchouc, qui dérivent plus ou moins directement du clapet employé dans certains scaphandres pour faciliter l'expulsion de l'air respiré par les plongeurs; ils se composent d'un bout de tuyau mince de caoutchouc, fendu suivant deux génératrices opposées; les deux lamelles ainsi constituées s'écartent pour laisser échapper l'air expiré, puis, quand la pression extérieure devient prépondérante, elles se rapprochent, s'appliquent l'une contre l'autre et interceptent la rentrée de l'air.

Quand la pression au refoulement est grande, les soupapes métalliques sont seules acceptables. Pour les pompes alimentaires, l'ancienne soupape à boulet est encore en usage; mais elle tend à céder la place à la soupape conique, qui est plus simple, plus légère et au moins aussi étanche; si cette dernière donne quelquefois lieu à des mécomptes, c'est qu'elle n'est pas toujours bien établie; on oublie assez souvent que, pour bien fonctionner, une soupape doit avoir une levée faible par rapport à son diamètre; qu'en outre il faut qu'elle retombe en toute liberté sur son siège, et cependant qu'elle soit guidée sur une longueur assez grande, pour qu'elle ne puisse pas biaiser et s'arc-bouter dans ses guides; enfin la position du jeu de soupapes par rapport à la pompe est parfois si mal entendue, que l'aspiration ne peut pas dépasser quelques décimètres de hauteur. Quelquefois la soupape est remplacée par un clapet, mais le rodage de cet organe n'est pas très sûr, et le joint qu'il donne n'est pas toujours étanche.

Pour les grands appareils élévatoires, la soupape imaginée par Girard rend d'excellents services. C'est simplement une large soupape métallique à tige fort légère, et chargée par un léger ressort, réglé de manière à faire poser presque sans pression la soupape sur son siège. La levée d'une pareille soupape est d'autant plus grande que la vitesse du piston est plus considérable; vers la fin de la course, quand la vitesse du piston diminue, la soupape s'approche de son siège, et arrive à le toucher sans choc, au moment où le piston passe au point mort. La pratique a complètement confirmé les résultats de cette analyse fine et ingénieuse, et

les applications de la soupape Girard sont chaque jour plus nombreuses.

Quand le volume d'eau à débiter est considérable, on le répartit entre un grand nombre de soupapes; la section d'écoulement offerte par une soupape est à peu près proportionnelle au carré de son diamètre, et son poids au cube de la même dimension; on a ainsi intérêt, au point de vue de la légèreté, à multiplier les soupapes; plusieurs bons constructeurs se conforment à cette règle, malgré la plus grande complication qui en résulte.

On dispose d'ordinaire, au départ de la conduite de refoulement, des réservoirs d'air pour régulariser la vitesse ascensionnelle; quelquefois on en met également sur la conduite d'aspiration, quand celle-ci a un développement un peu grand; le volume d'air confiné est entretenu, soit par de petites ouvertures, placées sur l'aspiration, et que l'on règle à la main, soit, dans les appareils soignés, par une petite pompe à air spéciale.

On a soin généralement de placer les soupapes de refoulement en communication avec les points les plus élevés du cylindre, de manière à produire l'évacuation naturelle de l'air, qui se dégage de l'eau à l'aspiration, ou s'introduit par les fuites. Mais cette précaution bien simple n'est pas toujours observée; aussi voit-on quelquefois des pompes alimentaires refuser leur service sans autre motif, même pour des hauteurs d'aspiration fort petites. Avec l'eau, fluide incompressible, les espaces dits *nuisibles* n'ont pas d'importance; mais certains constructeurs oublient qu'il en est tout autrement avec l'air; et quand il s'agit de pompes à plongeur, qui laissent autour du piston des capacités fort importantes relativement au volume engendré, une fois l'air cantonné dans ces cavités, la pompe ne fait plus que le comprimer et le laisser se détendre, sans aspirer une goutte de liquide.

Ces considérations générales nous dispenseront d'entrer dans de grands détails sur les expositions particulières qu'on voyait figurer au Champ de Mars. Nous ne nous arrêterons qu'à celles qui offrent des sujets d'étude particulièrement instructifs.

Parlons d'abord des grandes machines élévatoires que l'on voyait

Gr. VI. — Cl. 54.

à l'Exposition. Nous avons déjà eu l'occasion, à propos des pompes à vapeur, d'en examiner plusieurs fort remarquables, entre autres celles de MM. Lecouteux et Garnier, Le Brun, de la maison Hathorn, Davis et Davey, de l'usine Cockerill, etc. Nous n'y reviendrons pas.

MM. Feray et Cie, d'Essonnes, exposent une moitié de l'usine hydraulique destinée à l'alimentation du canal de l'Est, et qui doit être installée à Pierre-la-Treiche. Cette usine doit comprendre deux turbines actionnant chacune trois pompes. C'est l'un de ces groupes qui était exposé. L'arbre vertical de la turbine actionne directement par une manivelle les trois pompes foulantes, qui sont horizontales, et disposées en éventail autour de cet axe, en faisant entre elles des angles de 120 degrés. Suivant les besoins et le débit de la chute, on peut débrayer à volonté l'une quelconque des trois pompes. Les pompes sont à double effet et à piston plongeur. Les soupapes sont pourvues de ressorts extérieurs, dont on peut faire varier la tension à volonté, de manière à annuler complètement les chocs. Chaque pompe est munie d'un réservoir d'air à l'aspiration; un grand réservoir d'air au refoulement est commun aux six pompes de l'usine. L'ensemble a été étudié par M. Callon, d'après les méthodes qu'il a établies de concert avec Girard.

Les dimensions principales sont les suivantes (les chiffres ci-dessous se rapportent à l'ensemble de l'usine, comprenant les deux turbines et les six pompes) :

Chute nette variable, de	$2^m,20$ à $2^m,50$
Débit du cours d'eau, comprenant le débit des pompes, par seconde	4,900 à 8,100[1]
Hauteur de refoulement, y compris les pertes de charge dans les conduites	$41^m,20$
Nombre de tours par minute, environ	20
Diamètre des pistons des pompes	$0^m,390$
Course	$0^m,600$
Le rendement *en eau montée*, obtenu en divisant le travail net d'élévation par le travail brut de la chute, est garanti par les marchés au chiffre de	0,58

Cette construction, aussi remarquable par la parfaite conception que par la beauté de l'exécution, a été fort admirée du jury, qui a vivement ressenti le vide immense que laisse, dans la science de l'hydraulique, la perte des deux éminents ingénieurs, dont cette magnifique usine résume les idées et les travaux. Gr. VI. — Cl. 54.

On remarquait aussi la belle exposition de M. Letestu, de Paris, et celle de l'*Hydraulic engineering Company*, que nous retrouverons ultérieurement.

A côté de ces grandes maisons, dont les importantes constructions étaient un des ornements du Palais et des annexes, se rencontrent une foule de constructeurs plus modestes, mais dont les produits sont d'un grand intérêt. La construction des pompes domestiques se fait sur des données mécaniques, qui sont les mêmes que celles des grands appareils élévatoires; mais ici interviennent au premier rang des questions d'un autre ordre, parmi lesquelles il faut compter le bon marché, la rusticité et le facile entretien. C'est dans les fabrications de cette nature que l'organisation du travail dans les manufactures joue un rôle considérable. A ce point de vue, les maisons Japy frères et Cie, de Beaucourt, et W. et B. Douglas, de Middletown (Connecticut), peuvent à bon droit être citées comme des modèles. Il serait sans intérêt de rappeler tous les noms des constructeurs qui fournissent de bonnes pompes pour les usages domestiques. Nous nous arrêterons seulement à quelques dispositions qui semblent originales ou heureuses.

MM. Guyon et Audemar, de Dôle (Jura), à côté de séries de pompes fort bien établies, exposent des pompes du système Baillet et Audemar, à double piston et à courant continu.

Cet appareil, comme l'indique la figure 43, se compose d'un système de quatre pistons solidaires, munis de soupapes, et auxquels une tige rigide, actionnée par un excentrique en cœur, imprime un mouvement alternatif uniforme. Dans le mouvement de gauche à droite, les pistons B et B′ refoulent devant eux l'eau dans le tuyau élévatoire R, tandis qu'ils produisent derrière eux une aspiration dans le tuyau O; les soupapes des pistons A et A′ laissent le passage libre au liquide, aspiré d'un côté et refoulé de l'autre.

Gr. VI. — Cl. 54.

Dans le mouvement inverse de la tige, ce sont les pistons A et A′ qui refoulent et aspirent, pendant que les soupapes des pistons B et B′ laissent passer l'eau. Cette pompe est ingénieuse et donne

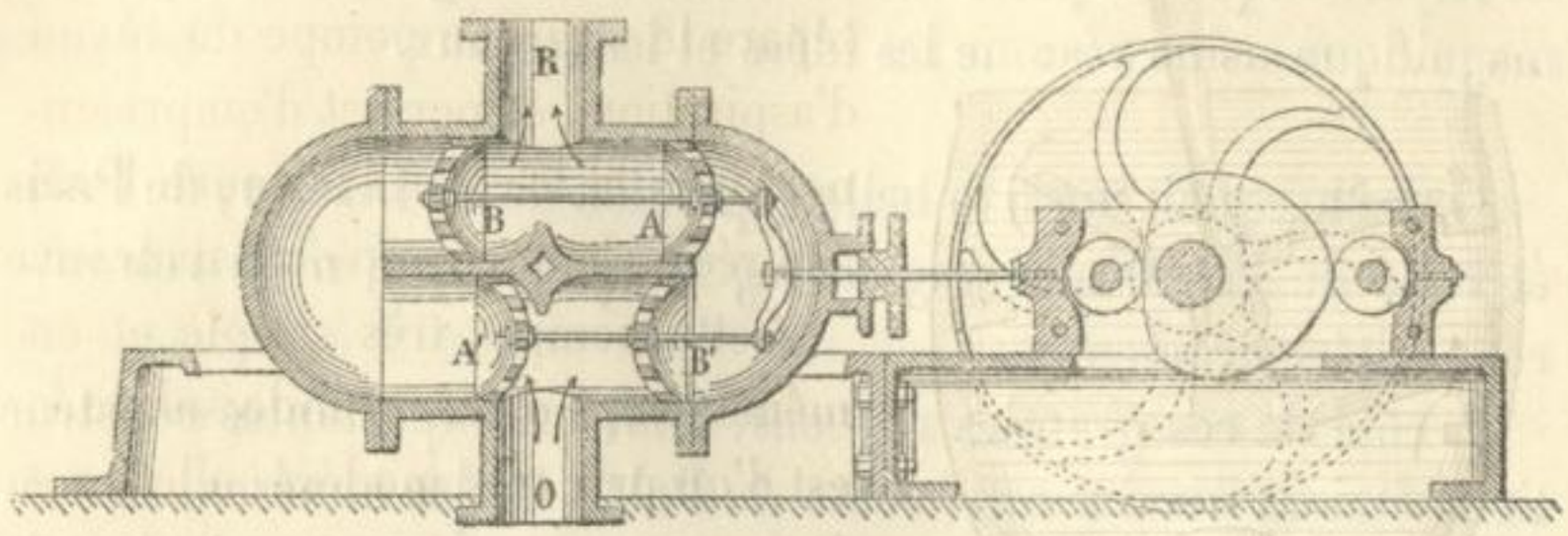


Fig. 43. — Pompe système Baillet et Audemar.

un débit fort régulier. Le principe n'en est peut-être pas entièrement nouveau.

M. Donnadieu, de Paris, expose des pompes dont le piston est fixe et le cylindre animé d'un mouvement alternatif. L'idée n'est sans doute pas neuve, mais l'application proposée par l'auteur ne manque pas d'originalité. Lorsque ces pompes sont employées pour l'élévation des eaux des puits, c'est la conduite ascensionnelle qui sert de tige de manœuvre, et le diamètre de cette conduite peut être établi de telle sorte qu'elle agisse par son poids, sans qu'elle risque de fléchir par l'effet d'une compression par le haut.

Un autre constructeur établit des pompes d'une disposition analogue, mais qu'il décore du nom de *paradoxales,* en affirmant qu'elles donnent un débit supérieur au volume engendré par le piston. Le fait peut être fort exact, mais il n'a rien de paradoxal; toutes les pompes, montées sur une conduite assez longue et un peu étroite, donnent le même résultat lorsqu'elles sont manœuvrées vivement.

L'*Oscillating pump manufacturing Company,* de New-York, expose une pompe oscillante fort simple, qui se met en mouvement à l'aide d'un balancier vertical en bois L (fig. 44).

Ce levier L, qui se manœuvre à la main, imprime à une cloison horizontale mobile *ab,* munie de deux soupapes oblongues S_1 et S_2,

un mouvement oscillatoire, lequel produit l'aspiration d'un côté et le refoulement de l'autre. Une deuxième cloison fixe, placée au-dessous de la première, et munie également de deux clapets S_3 et S_4, sépare le corps de pompe du tuyau d'aspiration, et permet d'emprisonner dans la bâche supérieure l'eau aspirée à chaque coup de balancier.

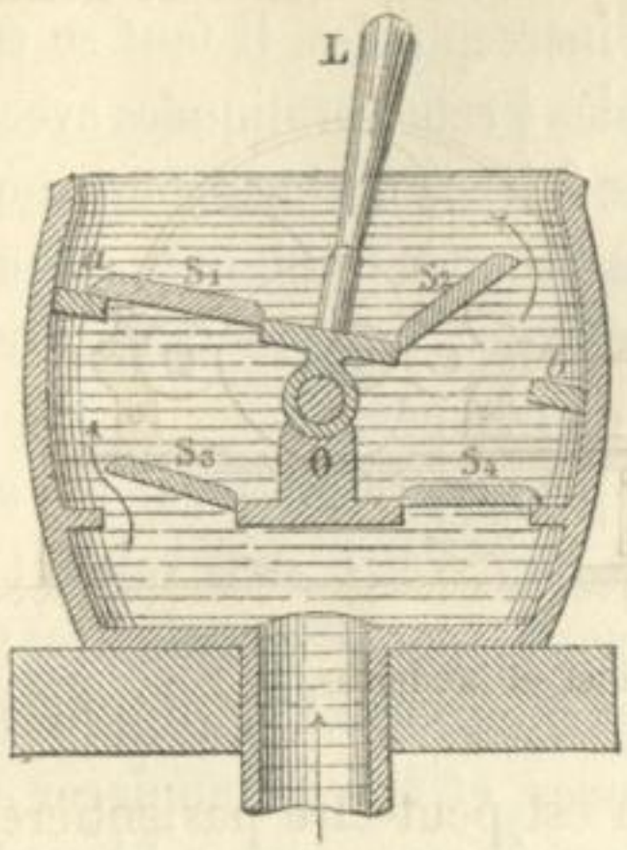


Fig. 44.
Pompe de l'*Oscillating pump Co.*

Cette pompe, très simple et en même temps d'une grande solidité, est d'un prix très modéré; elle peut être recommandée pour les établissements agricoles. Les pompes à piston oscillant sont assez nombreuses à l'Exposition; mais il y en a peu qui présentent autant de simplicité et des organes aussi rustiques que celle qui vient d'être décrite.

Ce que nous avons dit au sujet des machines à vapeur rotatives ne saurait s'appliquer sans modifications aux pompes rotatives. S'il y a avantage évident, pour les machines à vapeur, à simplifier autant que possible la transmission du travail produit par la pression de la vapeur, cet avantage est loin d'être aussi général lorsqu'il s'agit des pompes. Et d'abord, pour les pompes mues à bras, on ne voit pas qu'il y ait profit à substituer le mouvement de rotation continu au mouvement alternatif, lequel s'adapte au moins tout aussi bien à l'ensemble de l'organisme humain. La question est plus intéressante, en ce qui concerne les pompes mues mécaniquement. Ici la simplification dans la transmission résultant du mouvement continu est incontestable. Mais il y a encore des différences profondes avec les machines à vapeur, différences provenant des propriétés mêmes des fluides en présence : d'une part la vapeur d'eau, parfaitement élastique et d'une densité très faible, d'autre part l'eau incompressible et d'un poids spécifique élevé.

Les grandes vitesses de piston, que la machine à vapeur rota-

tive admet à un plus haut degré que celle avec mouvement alternatif, ainsi que la réduction de volume qui en est la conséquence, ne sont plus du tout de mise avec un fluide dense comme l'eau; elles conduiraient à des pertes de travail inacceptables. Il faut se contenter de vitesses modérées, comparables à celles pratiquées avec les pompes ordinaires. D'autre part, les fuites sont beaucoup moins à redouter, et cet obstacle, qui a fait échouer la plupart des machines à vapeur rotatives, surtout celles à marche lente, cesse d'être insurmontable quand il s'agit de pompes.

Dans la plupart des systèmes de pompes rotatives, il n'y a ni soupapes ni clapets. Cet avantage est loin d'être sans valeur; les clapets sont des organes délicats dans les pompes ordinaires; ils sont exposés à se déranger et manquent souvent de durée. Il y aurait tout profit à pouvoir s'en passer et à les remplacer par d'autres distributeurs; mais la question n'est pas encore bien résolue. Un clapet est manœuvré par les mouvements mêmes de l'eau qui le traverse; il s'ouvre et se ferme au moment voulu; il constitue de lui-même une soupape de sûreté, et obvie aux accroissements exagérés de pression, résultant des défauts de conception et d'ajustage, ou de circonstances non prévues par le constructeur. Avec une distribution résultant du jeu cinématique d'organes solides, il en est tout autrement; et l'on rencontre de nombreuses pompes rotatives dans lesquelles, à certaines phases du mouvement, le piston tend à diminuer le volume d'une masse de liquide complètement confinée. Pour la vapeur, et grâce à l'élasticité de ce fluide, l'inconvénient serait minime. Avec l'eau incompressible il en est tout autrement; il se produit des résistances énormes, des pressions destructives, et sans l'imperfection des organes et les fuites abondantes qui en sont la conséquence, l'appareil serait mis immédiatement hors de service.

L'Exposition renfermait un assez grand nombre de pompes rotatives, dans lesquelles les principes rappelés ci-dessus étaient plus ou moins bien observés. D'ailleurs les combinaisons réellement nouvelles étaient en fort petit nombre, et la plupart des systèmes présentés n'étaient que la reproduction, plus ou moins perfectionnée, de dispositifs déjà essayés plus d'une fois. Nous nous

contenterons de signaler quelques particularités intéressantes de cette partie de l'Exposition.

Au point de vue des dispositions d'ensemble, on peut diviser les pompes rotatives en deux classes, suivant qu'elles comportent *un seul* axe ou *deux* axes de rotation.

Les *pompes rotatives à un axe* présentent presque toutes aujourd'hui, comme organe principal, une palette *ab* (fig. 45) tournant autour d'un axe O, placé excentriquement dans l'intérieur d'une capacité cylindrique circulaire, de façon que, dans les diverses positions *ab*, *a'b'* de cette palette, ses extrémités *a*, *a'*, *b*, *b'* soient toujours en contact parfait avec la paroi intérieure du corps de pompe. L'aspiration se fait derrière la palette et le refoulement en avant. Les positions successives occupées par cette palette coïncidant avec les cordes menées par le point fixe O, les longueurs de cette palette sont variables, et il est nécessaire de la construire de telle sorte qu'elle puisse s'allonger ou se raccourcir alternativement.

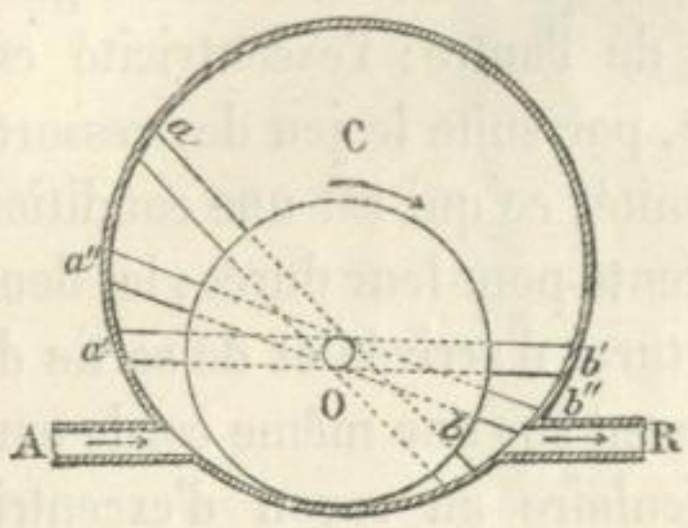


Fig. 45.

On obtient généralement ce résultat en divisant la palette en deux parties, entre lesquelles on interpose un ressort ou un excentrique, ou bien en guidant les extrémités dans une rainure creusée dans les fonds du cylindre moteur.

Ce genre de pompes, dont il existe une infinité de variétés, donne généralement un assez bon débit; mais le frottement des organes et l'emploi des ressorts ou des excentriques entraînent des inconvénients que les inventeurs ne sont pas encore parvenus à faire disparaître. Il est également difficile d'éviter complètement les effets désastreux de l'incompressibilité de l'eau; on remarquera en effet que, la palette passant de la position *a'b'* à la position *a''b''*, la masse d'eau renfermée en C diminue de volume; il faut donc, ou que les parois cèdent par leur élasticité, ou que les

Gr. VI. — Cl. 54.

fuites interviennent; dans un cas comme dans l'autre, c'est une grande fatigue des organes et beaucoup de force perdue.

Diverses maisons exposent des pompes rotatives du système Érémac, qui renferment des détails intéressants (fig. 46).

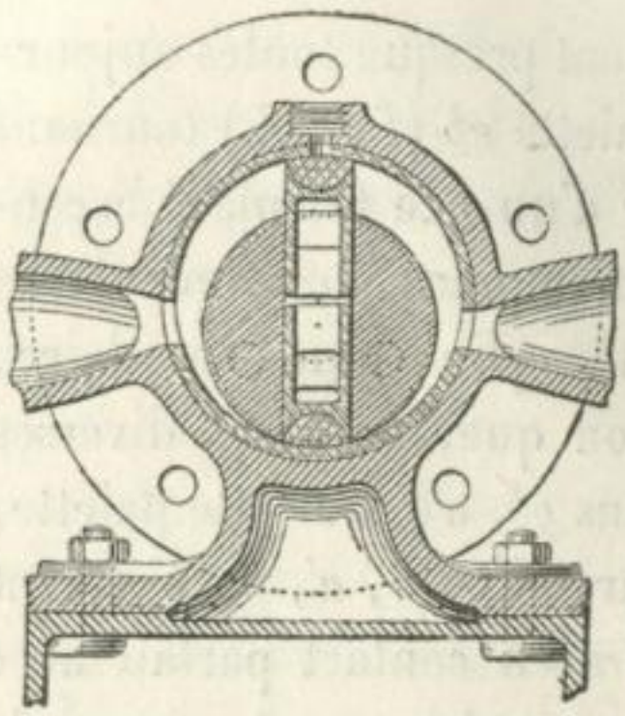


Fig. 46. — Pompe du système Érémac.

Dans cette pompe, la palette est divisée en deux parties, appliquées contre la paroi du cylindre par des ressorts, qui tendent à les éloigner l'une de l'autre; l'excentricité est faible, par suite le jeu des ressorts est limité, ce qui est une condition excellente pour leur durée; les deux ouvertures d'arrivée et de sortie de l'eau sont sur une même corde perpendiculaire au rayon d'excentricité, ce qui supprime presque complètement la compression de l'eau confinée. Les garnitures des palettes sont particulièrement intéressantes : elles se composent d'un demi-cylindre, tournant dans une gorge de même forme pratiquée sur le bord de la palette, et taillé sur sa face libre suivant la courbure de la paroi contre laquelle il s'applique; on obtient ainsi un bon frottement et une étanchéité satisfaisante.

MM. Bartrum et Powell ont imaginé une pompe rotative, qui était exposée par MM. Tulpin frères, de Rouen, et Cail, Halot et Cie, de Bruxelles. Elle se compose (fig. 47) d'un corps de pompe cylindrique A, traversé suivant son axe par un arbre tournant muni d'une manivelle; le bouton de cette manivelle B entraîne un cylindre formant piston, lequel est muni d'un appendice prismatique DE; celui-ci glisse dans un guide oscillant F; il est percé dans sa longueur d'une lumière. Le jeu de cette pompe se comprend facilement sur le croquis ci-joint : on voit que l'appendice DE joue, par rapport au cylindre, le rôle de tiroir de distribution. Le principe de cet appareil est fort ingénieux; il semble exiger un ajus-

tage très précis, et il est à craindre que l'usure des pièces frottantes n'amène promptement des fuites.

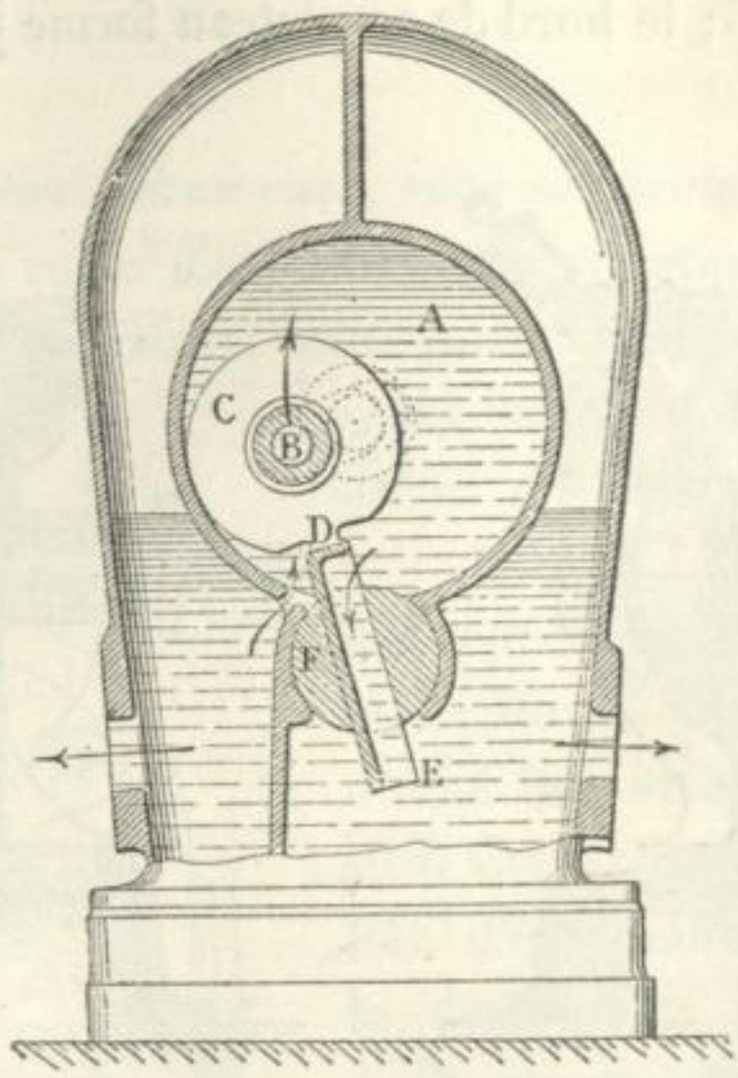


Fig. 47. — Pompe du système Bartrum et Powell.

Il existe de nombreux modèles de pompes rotatives reposant, comme les précédentes, sur l'action d'un excentrique ou de palettes diamétrales ou obliques au rayon; les palettes sont souvent au nombre de deux et opposées l'une à l'autre, souvent il y en a trois ou quatre. Un assez grand nombre de constructeurs s'inquiètent peu des effets de compression d'eau confinée, que nous avons signalés à plusieurs reprises; l'un des procédés les plus en usage pour les éviter consiste à disposer les lumières de telle sorte qu'elles ne restent fermées que pendant un temps très court, et dans la période du mouvement dans laquelle le volume confiné ne varie pas sensiblement; c'est là, comme nous l'avons vu, l'artifice employé dans la pompe Érémac. D'autres fois, comme dans la pompe de M. Thiébault et fils, c'est par le tracé même de l'enveloppe qu'on arrive à ce résultat.

Voici un système fort original de pompe rotative à un axe

Gr. VI. — Cl. 54.

(fig. 48), imaginé par M. Victor Ortmans, exposé par la maison Van Gœthem, J. Rallier et Cie, de Bruxelles. L'organe essentiel est un plateau AB, largement ondulé, et fixé perpendiculairement à l'axe de rotation CC; le bord de ce plateau forme joint sur la boîte

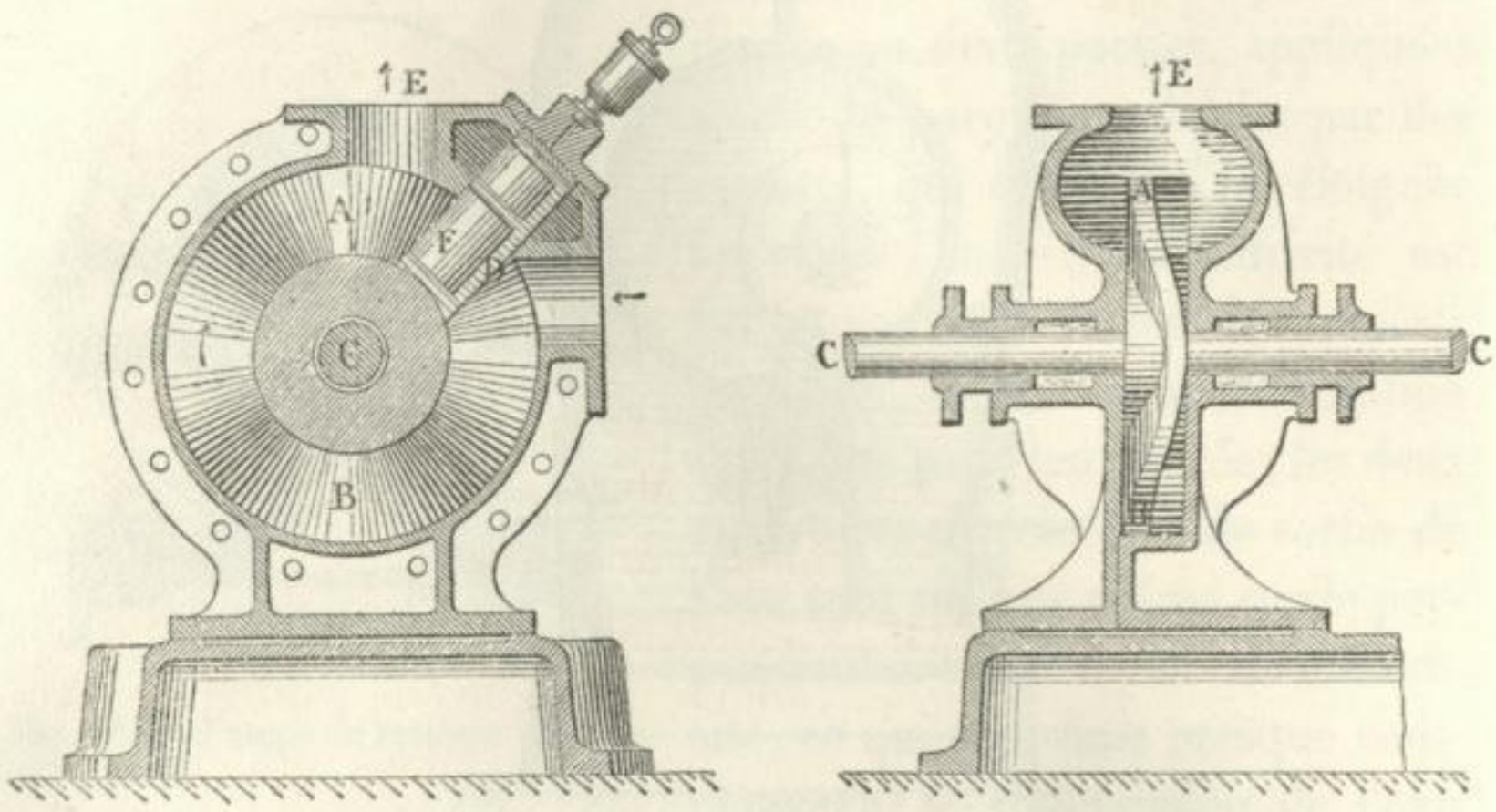


Fig. 48. — Pompe du système Ortmans.

cylindrique qui l'enveloppe, et les arêtes des ondulations affleurent les fonds plats de cette boîte; l'eau est donc entraînée par les capacités ainsi confinées entre chaque ondulation et les parois de la boîte. En D est un tiroir traversé par une fente, par laquelle passe le plateau, qui imprime ainsi au tiroir un mouvement de va-et-vient transversal. On voit immédiatement le jeu de l'appareil : l'eau logée dans les ondulations est refoulée, par la rencontre du tiroir, dans la conduite ascensionnelle E. Pour faire les joints entre les faces du plateau et les joues de la fente du tiroir, on dispose dans celui-ci un bouchon fendu F, qui embrasse le plateau et oscille en tournant autour de son axe et en entraînant le tiroir.

Le débit de cette pompe est parfaitement continu; à chaque tour le volume d'eau qui la traverse est égal, sauf les fuites, au volume des vides de la boîte; de plus on n'a pas à craindre ces dangereux effets de compression, si redoutables dans les pompes rotatives. Reste à savoir comment se comporteront à l'usage ces larges joints : c'est

une question que la pratique seule pourra résoudre. L'appareil qui fonctionnait à l'Exposition avait un plateau de 1 mètre de diamètre ; à la vitesse de 157 tours, il débitait environ 10,000 litres à la minute.

La *pompe rotative à deux axes,* sous sa forme la plus simple, se compose de deux roues d'engrenages, enveloppées exactement par deux portions de cylindres ; les tuyaux d'aspiration et de refoulement viennent déboucher aux deux arêtes d'intersection des tambours cylindriques. La figure 49 ci-jointe, qui représente la pompe exposée par MM. Moret et Broquet, de Paris, donne une idée claire de ce dispositif. Cette pompe est d'ailleurs bien loin d'être nouvelle : on en trouve la description dans des ouvrages écrits au XVIIe siècle, et elle est généralement connue sous le nom de *pompe de Pappenheim.*

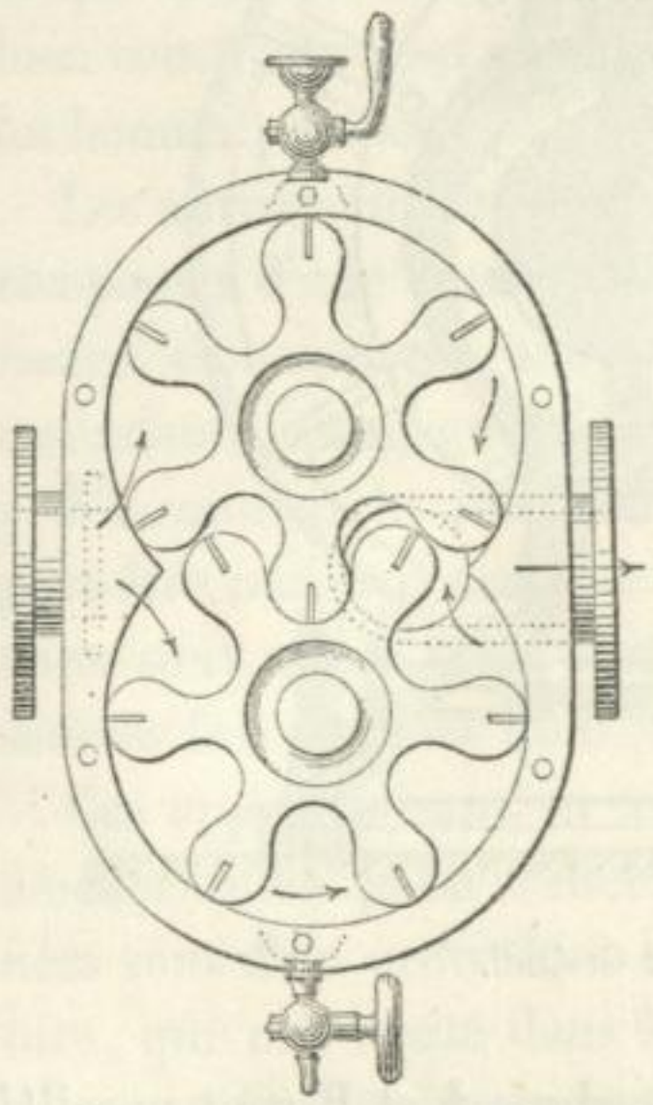


Fig. 49.
Pompe du système Moret et Broquet.

Le principe de cette pompe se prête aux variétés les plus étendues : ainsi les deux axes peuvent faire entre eux un angle quelconque, leurs vitesses peuvent être très différentes, le tracé des roues de l'une des dents peut, dans de certaines limites, être pris arbitrairement, celui des dents de l'autre roue pouvant s'en déduire par les procédés ordinaires de la cinématique. Le champ des combinaisons possibles est pour ainsi dire illimité, et les systèmes proposés dans cet ordre d'idées sont extrêmement nombreux. Il nous suffira de rappeler, parmi les appareils qui figuraient à l'Exposition de 1867, la machine soufflante de Roots, le ventilateur d'Évrard, puis la pompe à vapeur Behrens, exposée dans la section américaine, et comprenant un moteur et une pompe, l'un et l'autre construits dans le même système.

Gr. VI. — Cl. 54.

A l'Exposition de 1878, on voyait plusieurs exemplaires de la pompe rotative du baron Greindl (fig. 50), qui avait déjà figuré à l'Exposition de Vienne.

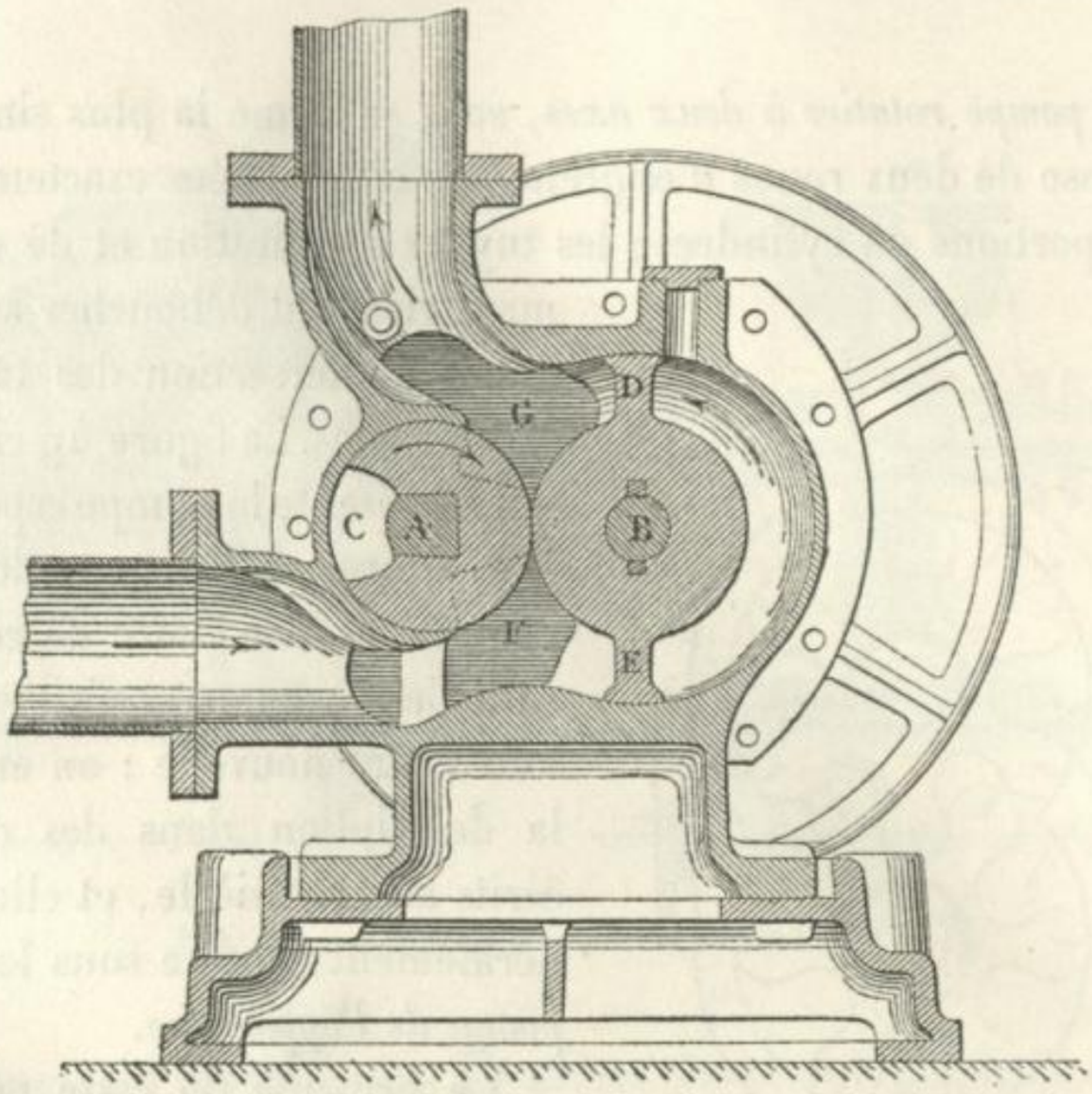


Fig. 50. — Pompe Greindl.

Dans la pompe Greindl, les deux arbres A et B sont parallèles et reliés par des engrenages extérieurs à la pompe; l'arbre A fait deux tours, quand l'arbre B n'en fait qu'un, de telle sorte que l'échancrure C reçoit successivement les deux palettes D et E. La figure ci-jointe montre clairement le mode de fonctionnement. Il ne diffère pas en principe de celui des autres pompes de la même catégorie; mais des détails bien entendus ont permis d'atténuer quelques-uns des défauts du système. Ainsi pour éviter les chocs résultant, dans certaines positions, de la compression du liquide confiné, l'inventeur a établi, de chaque côté des roues à cames, de larges poches FG, communiquant tant avec l'aspiration qu'avec le refoulement, et qui se trouvent en relation avec les capacités comprises entre les deux roues.

La pompe Greindl peut servir aussi de pompe à gaz et même de machine motrice. Elle partage d'ailleurs cette dernière propriété avec la plupart des pompes, dans lesquelles la distribution est faite par des organes rigides.

Les pompes à chapelets et les norias sont des machines élévatoires d'un grand usage, pour le puisage des eaux à des profondeurs modérées, dans les contrées éloignées des centres habités, et qui n'offrent aucune ressource pour les réparations. Une noria bien construite peut avoir un rendement mécanique aussi élevé que les bonnes pompes.

Les norias sont souvent remplacées par les pompes à chapelets, composées d'une chaîne sans fin s'enroulant sur une poulie supérieure, et qui porte une série de pistons, qui, dans leur course ascendante, s'engagent l'un après l'autre dans un tuyau vertical, et y déterminent le mouvement du liquide. Ces chapelets perdent peut-être moins d'eau que les godets des norias, mais les réparations sont moins à la portée d'un simple manœuvre et des ressources fort limitées qu'il peut trouver sous sa main.

Ces appareils sont en usage depuis une haute antiquité, et les améliorations qu'on a cherché à y apporter dans ces dernières années sont d'un ordre bien secondaire. Aussi les outils de cette nature, qui ont excité dans le jury le plus vif intérêt, sont les machines rudimentaires exposées par les Égyptiens et les Chinois.

L'*École des arts et métiers* du Caire présentait une noria extrêmement simple, faite pour être mise en mouvement par des bœufs ou des ânes, destinée aux usages agricoles, et qui répondait bien, par sa rusticité, aux conditions de pareilles installations.

Les *Douanes chinoises* de Canton exposent une pompe à chapelet, construite en bois et en bambou de la manière la plus élémentaire. Les membres américains du jury ont déclaré que cette pompe est fort en usage en Californie, et que, manœuvrée par les coolies, elle donne des résultats supérieurs à ceux des autres pompes.

Les machines hydrauliques que nous avons étudiées jusqu'ici

travaillent sur l'eau animée de faibles vitesses; leur fonctionnement est pour ainsi dire statique. Dans les pompes centrifuges au contraire, c'est la vitesse imprimée à l'eau qui lui fait surmonter la pression à laquelle elle est soumise, et détermine son mouvement ascensionnel; dans ces appareils, le liquide travaille à l'état dynamique.

A l'Exposition de 1855, on voyait une petite pompe, formée d'une hélice horizontale, à laquelle une manivelle, mue à bras, imprimait, par l'intermédiaire d'engrenages, un mouvement rapide de rotation; elle élevait l'eau à une assez grande hauteur, et en quantité notable, dans un large tube de verre. Ce n'était qu'un simple modèle, mais il semblait dérivé d'une idée féconde; c'était la turbine motrice, renversée et transformée en machine élévatoire. Cette idée si naturelle a été abandonnée, et les constructeurs se sont attachés à établir des pompes se rapprochant comme fonctionnement de celui du ventilateur de forge.

Cependant il convient de rappeler ici que l'un des ventilateurs les plus récents, celui de MM. Geneste et Herscher, qui a été appliqué sur une vaste échelle à l'aération du palais du Trocadéro, dérive, non plus du système centrifuge, mais du principe de l'hélice de 1855; et il n'y aurait rien d'étonnant à ce qu'une pareille transformation vînt à se produire dans l'établissement des pompes dynamiques.

Il semble que la première pompe centrifuge qui ait fonctionné d'une manière industrielle soit due à Appold. Plusieurs ingénieurs se consacrèrent immédiatement à l'établissement des pompes de cette espèce; de nombreuses et importantes améliorations furent apportées à leur construction, et le rendement, qui d'abord était assez faible, ne tarda pas à devenir comparable à celui des pompes à piston. A l'Exposition de 1867, elles eurent un remarquable succès, et depuis cette époque les applications de ces pompes sont devenues très nombreuses et fort importantes. Leurs avantages principaux sont leur légèreté et leur petit volume, même pour des débits considérables; elles sont faciles à transporter et à monter, elles donnent passage sans inconvénient aux eaux chargées de sable et de gravier, elles ne comportent pas d'organes délicats ou capricieux.

On les emploie quand il s'agit d'élever les eaux en grande quantité et à une hauteur modérée, et leur service est particulièrement économique dans les installations provisoires, ou quand le travail ne doit pas être de longue durée. Les pompes centrifuges sont devenues l'outil ordinaire d'épuisement pour les travaux publics, pour les bassins de radoub, pour les irrigations, etc.

Elles sont construites avec divers perfectionnements par plusieurs maisons. Les plus importantes expositions dans ce genre étaient celles de Gwynne (John et Henry), de Londres, Gwynne et Cie, de Londres, Dumont et Cie, de Paris. On y voyait figurer des pompes de tous les calibres et de toutes les puissances, quelques-unes actionnées directement par des moteurs à vapeur à grande vitesse, ainsi que les dessins de grandes installations pour cales de radoub ou asséchements de marais.

Malgré les magnifiques résultats que fournissent aujourd'hui les pompes centrifuges, il est bien remarquable que la théorie de ces machines soit restée fort incomplète. Ici, comme dans la plupart des cas où la masse et la vitesse des fluides entrent en jeu, la science de l'hydraulique est encore à faire. Peut-être en faut-il chercher la cause dans le défaut de données certaines et d'expériences précises. Néanmoins les études théoriques sur ce sujet sont fort intéressantes, et il est bon de signaler celles qui ont été présentées au jury.

M. Harant expose une pompe centrifuge, construite par M. Thomasset, et dans laquelle l'arrivée de l'eau dans les aubes est guidée par un vannage fixe. Il espère par ce moyen améliorer le rendement. Il produit à l'appui de son système un mémoire intéressant, dans lequel le jeu des forces en présence est discuté avec habileté.

M. Decœur a construit une pompe centrifuge, dans laquelle les joues de la turbine sont prolongées par des parois légèrement évasées; le but poursuivi est de transformer en pression la puissance vive que possède le liquide au moment où il s'échappe de la roue. Un mémoire fort intéressant accompagne cette exposition. Ces développements mathématiques ont paru dignes d'attention. Leur

Gr. VI. — Cl. 54.

valeur eût paru plus grande encore s'ils eussent été accompagnés de résultats d'expériences authentiques.

Depuis son invention par Montgolfier, au siècle dernier, le *bélier hydraulique* n'a été qu'assez rarement employé. Cet appareil, aussi simple qu'ingénieux, qui réunit dans un petit nombre d'organes les propriétés d'une machine motrice et d'une machine élévatoire, ne s'est guère répandu dans la pratique courante. Il faut en chercher la raison principale dans les chocs violents auxquels donne lieu la fermeture des clapets, au moment où la force vive, accumulée dans la conduite d'amenée, est brusquement dirigée vers la conduite ascensionnelle.

M. E. Bollée, constructeur au Mans, s'est donné la tâche d'atténuer ces graves inconvénients; il a repris l'étude du bélier, en a calculé à nouveau les proportions, amélioré les détails, et est ainsi parvenu à établir une machine fort simple de construction, d'un prix modéré, fonctionnant presque sans bruit et d'un entretien fort minime. En 1867, l'appareil de M. Bollée attira vivement l'attention. Aujourd'hui plus de 400 béliers construits par M. Bollée, pour les chutes et les débits les plus variés, fonctionnent dans les divers départements.

Une puissante maison américaine, W. et B. Douglas, de Middletown (Connecticut), exposait un petit modèle de bélier d'une construction fort simple; d'après les renseignements communiqués au jury, ces machines ont eu du succès aux États-Unis pour l'alimentation d'eau dans les maisons de campagne et dans les fermes isolées.

SECTION II.

RÉCEPTEURS HYDRAULIQUES.

Sommaire. — Considérations générales. — Divisions.

Roues à axe horizontal. — Roue Sagebien. — Roue Gay.

Turbines. — Généralités. — Turbines de Feray, de Béthouart et Brault, d'Escher Wyss, de Socin et Wick, de Planas-Junoy. — Dessins de Roy. — Turbines de Kennedy, de Christiania, de Westyn, de Decœur, de Mac Kenzie, de Dufort.

Machines à colonne d'eau. — Moteurs de petits ateliers. — Moteurs de Schmid, de Pézerat, de Nielsen, de Jaspar, de Taverdon, de Winter.

Systèmes divers. — Balancier hydraulique de Dudon-Mahon. — Puits à chute motrice de Hanriau.

Les moteurs hydrauliques ont fait peu de progrès dans ces dernières années. Le bilan des perfectionnements réalisés se réduit à quelques dispositions nouvelles de certains organes, et à une exécution plus soignée, résultant des améliorations introduites dans les procédés généraux de la construction des machines. La théorie de la plupart de ces moteurs est fondée sur un petit nombre d'hypothèses simples et qui se sont trouvées suffisamment exactes; dès lors, l'analyse des phénomènes dont ils sont le siège ne présente pas de difficultés insurmontables; le calcul de leurs effets a été entrepris, il y a déjà assez longtemps, par quelques mathématiciens distingués; et ces recherches ont conduit à des règles précises, qui, traduites immédiatement dans la pratique, ont donné des résultats fort satisfaisants; de telle sorte que, dans cet ordre d'idées, il reste peu de chose à faire. Ce n'est pas que la question doive être considérée comme épuisée; mais il semble que le champ restant à parcourir soit fort limité, tant qu'on ne sortira pas complètement des voies suivies jusqu'à ce jour.

Il faut dire aussi que, dans nos pays du moins, les circonstances se prêtent assez mal au développement des moteurs hydrauliques. En premier lieu, ils ont à lutter contre un concurrent redoutable : la machine à vapeur fournit un travail, plus cher sans

Gr. VI. — Cl. 54.

aucun doute, mais qui jouit d'une souplesse, d'une maniabilité incomparables; elle défie les crues et les glaces; elle est prête à l'heure voulue; elle se place à côté de l'outil, que ce soit au fond des vallées ou loin des cours d'eau. Grâce à ces propriétés merveilleuses, on la voit bien souvent supplanter la roue hydraulique, qui n'est pas toujours en état de donner son travail au moment et au point où l'industriel en a le plus grand besoin. Malgré cette sérieuse infériorité des moteurs hydrauliques, le prix de revient de la puissance motrice qu'ils fournissent est tellement bas qu'ils prendraient certainement la plus large extension, si d'autres obstacles ne venaient entraver leur développement. Il y a des chutes d'eau importantes à exploiter sur tous les points du territoire; et ces richesses naturelles sont malheureusement fort négligées.

Si l'on suppute la puissance que représentent les eaux tombant de nos montagnes à la mer, on arrive à des chiffres qui déconcertent l'imagination; c'est à des millions de chevaux-vapeur que s'élève le total. Il est triste de penser que de cette force motrice immense, inépuisable, une fraction imperceptible seulement est utilisée; le surplus se perd en tourbillonnements stériles, ou n'a d'autre effet que de dégrader le lit des fleuves et de ravager leurs rives.

Serait-il possible de tirer parti de ces incalculables richesses?

A cette question, si importante au point de vue des forces productives de la société, la mécanique a déjà répondu; la tâche qui lui incombait, elle l'a remplie d'une manière complète, si complète que la question technique semble aujourd'hui toucher à son terme :

Qu'on donne une chute d'eau, dans des conditions quelconques de hauteur et de débit (et ces conditions peuvent varier dans des limites extrêmement étendues), l'hydraulicien saura recueillir la puissance que représente cette chute, et la transformer, sans en perdre une fraction notable, en travail utilisable. L'un des reproches que l'on a fait pendant longtemps aux moteurs hydrauliques, c'est d'obliger les usines à s'installer dans les fonds de vallée, à proximité des cours d'eau, dans des emplacements souvent défavorables à l'industrie. Eh bien, ce reproche a cessé d'être fondé : la force motrice créée dans la vallée peut être aujourd'hui

transmise presque intégralement, même à des distances considérables, et la zone dans laquelle peuvent s'établir les manufactures se trouve en conséquence élargie dans les plus larges proportions.

Ainsi le problème mécanique est aujourd'hui résolu. Mais les difficultés à surmonter sont d'un autre ordre, et elles tiennent de si près au sujet que nous étudions, qu'il est impossible de n'en pas dire quelques mots.

Il faut compter au premier rang l'irrégularité du régime des cours d'eau. Les basses eaux, les crues et les glaces suspendent le travail pendant une partie de l'année, et imposent souvent le chômage dans les saisons où il est le plus funeste. Mais, hâtons-nous de le dire, ces obstacles ne sont pas toujours insurmontables, et la science de l'ingénieur a pu, dans quelques cas, trop rares il est vrai, en avoir raison. Pour n'en citer qu'un exemple, rappelons les admirables travaux par lesquels on est parvenu à assurer au Furens un débit presque régulier, à supprimer les inondations désastreuses qui désolaient périodiquement cette belle vallée, et à en faire une source de richesse pour le pays. Les magnifiques résultats obtenus par le barrage du gouffre d'Enfer peuvent servir de mesure à ceux que l'on serait en droit d'attendre de l'aménagement des eaux naturelles, s'il était pratiqué, non plus comme travail local et partiel, mais sur une échelle plus vaste, et s'il embrassait des superficies un peu étendues de nos principaux bassins.

Il existe des entraves d'une autre nature, qui, pour être plus factices, n'en ont pas moins paralysé bien souvent des entreprises fort utiles et causé des dommages d'une extrême importance; ces entraves sont en partie la conséquence indirecte de l'état actuel de notre société; les intérêts divers y sont tellement enchevêtrés que l'on ne peut modifier une situation, sans que des situations nombreuses et souvent opposées soient immédiatement mises en cause; c'est une machine très compliquée, dont chaque rouage a sa place et sa fonction déterminée; essayer de changer un détail, c'est s'engager à retoucher tous les organes voisins, et quelquefois même des organes fort éloignés. Que de fois un usinier, cherchant à créer une chute d'eau ou à tirer meilleur parti de celle qu'il exploitait, ne

Gr. VI. — Cl. 54.

s'est-il pas vu rebuter par la multiplicité des intérêts qui se dressaient devant lui! Combien ont dû renoncer aux améliorations les plus nécessaires, en présence des formalités inextricables à remplir, et de l'incertitude que la législation fait peser sur l'avenir et sur les résultats des opérations les mieux combinées! Une législation surannée, modifiée et, on peut le dire, obscurcie par une jurisprudence nécessairement variable, a lassé bien des efforts et stérilisé bien des tentatives utiles; faite pour conserver un état de choses ancien, et qui devrait depuis longtemps avoir disparu, elle a en réalité maintenu la solitude sur nos cours d'eau, qui continuent, comme par le passé, à jeter à la mer les trésors de force motrice qu'ils emportent avec eux. C'est là un sujet qui appelle des méditations sérieuses, et sur lequel nous avons cru utile d'appeler l'attention, avant d'aborder les questions purement techniques que l'Exposition offrait à l'examen du jury.

Nous étudierons successivement :

Les roues hydrauliques à axe horizontal;

Les turbines;

Les machines dites *à colonne d'eau;*

Et quelques applications intéressantes de la puissance motrice des chutes d'eau.

Parmi les roues à axe horizontal qui figuraient à l'Exposition, la plus remarquable est sans contredit celle de M. Sagebien, d'Amiens. A l'Exposition de 1855, elle était représentée par un dessin, qui avait peu attiré l'attention; en 1867, elle avait déjà reçu des applications importantes, et les excellents résultats qu'elle avait donnés valurent à son auteur une médaille d'argent.

La roue Sagebien ou *roue-vanne* est une roue de côté, dont le caractère essentiel est une grande lenteur de marche : la vitesse à la circonférence ne dépasse pas 60 à 70 centimètres. Cette roue est représentée en coupe dans la figure 51 ci-jointe. Les aubes, qui ont une très grande hauteur, sont inclinées par rapport au rayon, de manière à se présenter au débouché de l'eau sous un angle d'environ 45 degrés; elles sont emboîtées exactement dans

un coursier circulaire. L'eau arrive avec une très petite vitesse du canal d'amenée, s'étale paisiblement entre les aubes, sur lesquelles elle presse de tout son poids, et est déposée sans remous dans le biéf d'aval. Cette marche tranquille, dans laquelle les pertes de puissance sont extrêmement réduites, est éminemment favorable au rendement; celui-ci s'élève toujours à un chiffre élevé; dans certaines expériences, il s'est même rapproché de l'unité à tel point que la différence était de même ordre de grandeur que les erreurs inévitables commises sur le jaugeage du cours d'eau, ou sur la mesure de la puissance au frein; si bien que le calcul des relevés fournis par l'expérience donnait aux expérimentateurs désorientés un rendement supérieur à l'unité.

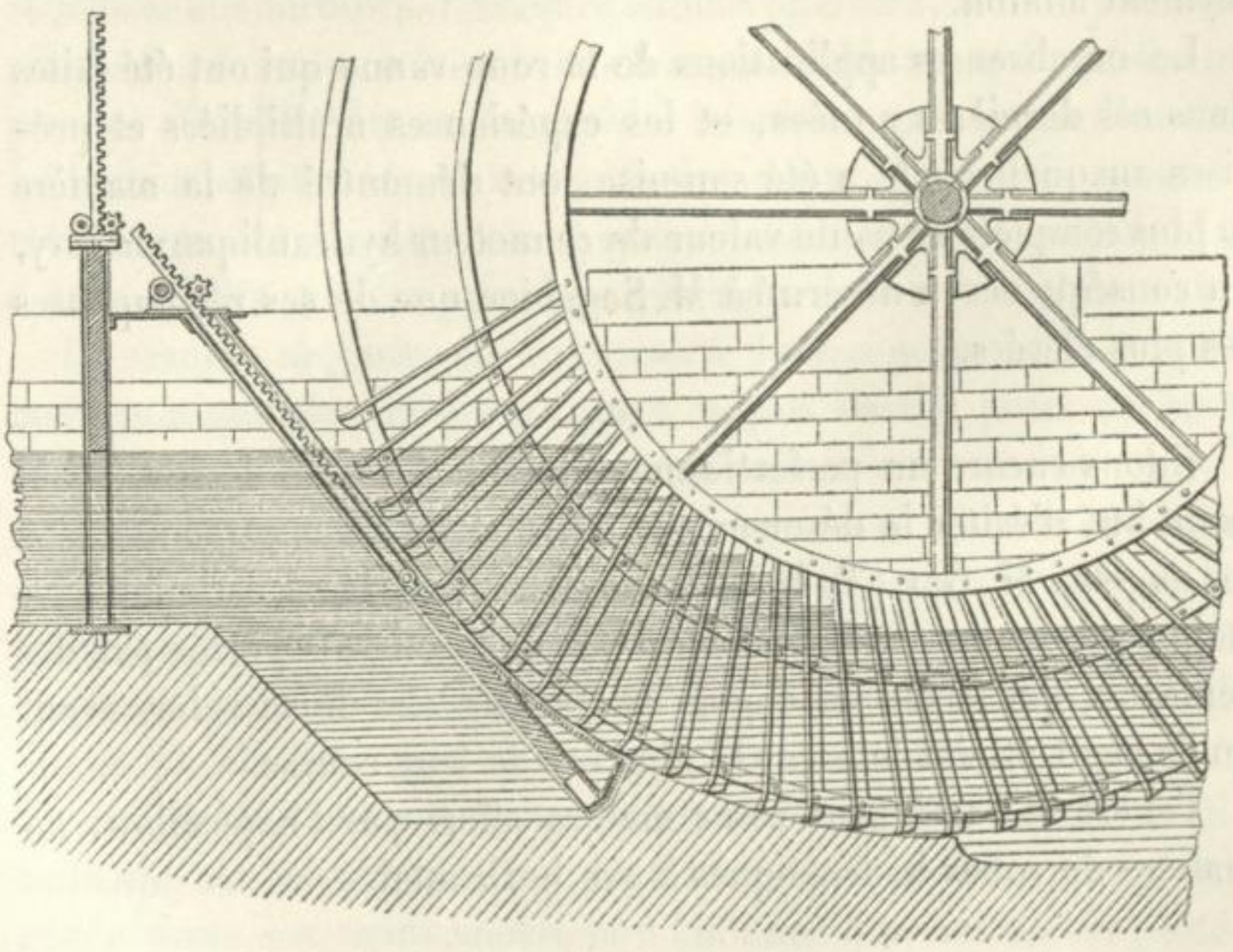


Fig. 51. — Roue Sagebien.

A ce propos, M. Sagebien fait remarquer avec raison que les coefficients numériques, sur lesquels s'appuient les calculs de l'hydraulique, auraient besoin d'être revisés; tous les ingénieurs qui se sont occupés de jaugeage ont eu l'occasion de constater combien ces coefficients présentent d'incertitude.

Gr. VI. — Cl. 54.

Outre son rendement fort élevé, la roue Sagebien possède d'autres propriétés intéressantes. La nappe d'eau par laquelle elle s'alimente a une très grande hauteur, de sorte que, malgré la faible vitesse du liquide, le débit est considérable, et la dépense peut s'élever à 1,000 ou 1,200 litres par seconde et par mètre courant; avec une largeur de roue relativement faible, on obtient ainsi une grande puissance. La roue fonctionne convenablement, et son rendement ne diminue pas, quand elle est noyée à l'aval, même sur une grande épaisseur; elle marche avec les chutes les plus faibles, et convient fort bien pour les chutes de hauteur modérée, jusqu'à 3 mètres et même au delà; son débit peut varier dans des proportions étendues, sans que le rendement soit notablement affaibli.

Les nombreuses applications de la roue-vanne qui ont été faites dans ces dernières années, et les expériences multipliées et précises auxquelles elle a été soumise, ont démontré de la manière la plus complète la haute valeur de ce moteur hydraulique; le jury, en conséquence, a décerné à M. Sagebien une de ses récompenses les plus élevées.

Citons encore un perfectionnement des roues en dessus, ayant pour but d'éviter le déversement anticipé de l'eau contenue dans les augets : M. Gay (T.-M.), de Bergerac, propose à cet effet d'installer un contre-coursier, formé par une courroie portée par des rouleaux, qui ferme les augets et les empêche de se vider, avant qu'ils aient atteint le point le plus bas de leur course.

Tel est le contingent assez maigre offert par l'Exposition, en matière de roues hydrauliques à axe horizontal.

Les turbines sont toujours en grande faveur; ces moteurs offrent l'avantage de s'accommoder à des chutes beaucoup plus élevées que les roues hydrauliques; comme elles livrent passage au liquide par toute leur circonférence, elles ont un débit considérable, sans être très volumineuses; d'autre part ce débit peut varier dans des limites étendues, et même, moyennant quelques artifices bien connus, le niveau de l'eau, tant dans le bief amont que dans le

bief aval, peut s'élever ou s'abaisser, sans que l'effet utile de la machine en soit notablement affecté; enfin les turbines bien construites ont un rendement dynamique fort élevé. Telles sont les raisons qui les font souvent adopter, même pour des chutes de petite hauteur, de préférence aux roues à axe horizontal, malgré la précision que réclame leur exécution et la délicatesse plus grande de leurs organes.

La turbine est née, pour ainsi dire, de toutes pièces des indications de la théorie. Il y a un demi-siècle qu'un ingénieur des mines distingué, Burdin, après avoir étudié les conditions que doit remplir une roue à axe vertical pour donner un bon rendement, proposa les principes qui servent de base aujourd'hui à la construction des turbines. Quelques années plus tard, Fourneyron appliqua ces données à la construction de turbines, qui réalisèrent presque d'emblée les remarquables résultats prévus par Burdin. La turbine était créée dans ses parties essentielles, et les améliorations qui ont été apportées à cette machine ont eu pour objet les détails, plutôt que les principes généraux de son fonctionnement.

De savants mécaniciens ont apporté leur concours à la théorie mathématique des turbines, qui a acquis de nos jours un haut degré de précision. Des ingénieurs distingués se sont attachés à en perfectionner les dispositions, et à les varier, de manière à les adapter aux conditions très diverses de chute et de vitesse qui se présentent dans les applications industrielles. Parmi ceux qui ont le plus contribué aux progrès récents, il faut citer MM. C. Callon et D. Girard; c'est à eux que l'on doit l'idée de laisser la veine liquide, au sortir des cloisons directrices, s'épanouir librement au contact de l'air dans les canaux mobiles, sans être gênée dans ses mouvements par les réactions des parois postérieures et latérales; c'est ainsi qu'ils ont créé le type de turbines dites *à libre déviation,* par opposition à celles *à réaction,* dans lesquelles les canaux adducteurs fixes et les canaux mobiles doivent être considérés comme faisant partie d'une conduite continue. C'est également à Girard qu'est due la disposition qui consiste à faire agir la veine liquide sur un segment restreint de la turbine, de manière à constituer un appareil qui, même sous de fortes

Gr. VI. — Cl. 54.

charges, n'est animé que d'un mouvement de rotation d'une vitesse modérée; ce qui permet d'en faire une roue à axe horizontal, commandant directement des pompes ou autres opérateurs à marche lente; les principes proposés par l'éminent hydraulicien ont reçu des applications nombreuses et importantes.

Parmi les applications des dispositifs connus, nous avons à signaler la belle exposition de MM. Feray et Cie, d'Essonnes, dont il a été déjà question. Elle comporte une moitié des appareils hydrauliques de l'usine élévatoire de Pierre-la-Treiche, destinée à l'alimentation du canal de la Marne au Rhin. La turbine horizontale, mettant en mouvement le groupe de trois pompes, est du type Fontaine, et à libre déviation de la veine liquide. Elle est munie d'un système de vannages, fermant successivement les divers orifices d'admission, et permettant ainsi de faire varier le débit par degrés et dans les plus larges limites, sans diminuer sensiblement le rendement. La couronne mobile est armée d'un volant puissant, qui a pour objet de maintenir aux pompes une allure suffisamment régulière, même lorsque la turbine ne commande qu'une pompe ou deux au lieu de trois. La chute utilisée dans cette usine est en moyenne de $2^m,40$ et peut varier de $2^m,20$ à $2^m,50$; le débit moyen de la turbine est de 4,000 litres à la seconde; le diamètre au centre des orifices est de 3 mètres, et le nombre de tours de 19 par minute. La puissance en eau montée est de 70 chevaux.

La maison Béthouart et Brault, de Chartres, possède une réputation bien établie pour la perfection de ses moteurs hydrauliques. La turbine exposée par ces constructeurs est du type Fontaine, et comporte les différentes améliorations qu'ils ont successivement introduites : les cloisons mobiles sont inclinées sur la circonférence, de manière à neutraliser l'action de la force centrifuge, qui tend à faire échapper le liquide vers la circonférence extérieure; la turbine est suspendue par un boîtard placé au-dessus du niveau du bief d'amont, ce qui rend le graissage facile; le débit est réglé par un vannage, formé de deux bandes de gutta-percha, qui s'en-

roulent à volonté sur deux cônes symétriques, manœuvrés par le conducteur de la machine. Tous ces détails, aussi bien que l'ensemble de la construction, présentent les caractères d'une étude consciencieuse et bien entendue; l'exécution ne laisse rien à désirer.

La maison Escher Wyss et Cie, de Zurich, expose une turbine Fontaine fort bien exécutée, gouvernée par un régulateur du système Bodemer, que nous avons eu l'occasion d'étudier précédemment, et dont l'application au cas actuel semble tout à fait heureuse.

MM. Socin et Wick, de Bâle, exposent une turbine à bâche fermée du système Girard, avec une disposition ingénieuse pour manœuvrer sans presse-étoupe les vannettes qui règlent le débit.

Citons encore des turbines systèmes Fontaine et Fourneyron, exposées par la maison Planas-Junoy et Cie, de Gerona (Espagne), et comportant des détails bien étudiés; les beaux dessins des usines élévatoires de la ville de Genève, mises en mouvement par des roues Girard, et construites par la maison Roy et Cie, de Vevey (Suisse); l'excellente turbine présentée par MM. W. Kennedy et fils, d'Owen-Sound (Canada); celles exposées par les Ateliers mécaniques de Christiania (Norwège) et par la maison Westyn (O. et E.), de Stockholm (Suède).

Parmi les dispositions de turbines que l'on peut considérer comme nouvelles, il convient de citer les turbines dites *centripètes*, dans lesquelles les directrices sont à l'extérieur, et lancent l'eau horizontalement sur les aubes d'une turbine intérieure, qui la laisse échapper par sa partie centrale. La théorie démontre, et l'expérience confirme, qu'une turbine centripète bien construite ne le cède pas comme rendement à une turbine ordinaire; les turbines de ce type offrent certains avantages comme facilité de construction et de règlement du débit.

M. Decœur, ingénieur des ponts et chaussées à Thiers, expose une turbine de ce genre, avec directrices pivotantes, qui permet-

Gr. VI. — Cl. 54.

tent de faire varier le débit dans des limites étendues. Il présente, en outre, un mémoire dans lequel plusieurs questions d'hydraulique sont traitées avec une grande compétence.

La turbine centripète exposée par la maison Mac Kenzie (Thomas) et fils, de Londres, est du système imaginé par M. Leffel. Le règlement du débit se fait au moyen de directrices pivotantes, gouvernées par des bielles articulées excentriquement à l'arbre vertical.

Citons, pour terminer ce sujet, un moteur exposé par M. Dufort (H.), de Paris, et qui n'est autre qu'une très petite turbine, mise en mouvement par l'eau prise sur les conduites d'une distribution; ce moteur actionnait une machine à coudre. Une pareille machine, extrêmement simple et d'un prix minime, peut rendre des services dans les cas où la force à produire est très faible et l'eau à très bas prix.

M. Dufort n'est pas le seul qui se soit occupé de produire de la force motrice, en mettant à profit l'eau sous pression distribuée par des conduites pour l'alimentation des villes. Il est certain que la question est du plus grand intérêt. Donner à la petite industrie, à l'ouvrier en chambre, un moteur simple, ne présentant ni danger ni sujétion, se mettant en marche par l'ouverture d'un robinet, cessant de consommer dès qu'il cesse de travailler, c'est là un problème qui, nous l'avons vu, a tenté plus d'un chercheur et a été attaqué de bien des côtés, sans avoir reçu jusqu'ici de solution tout à fait satisfaisante et générale.

Dans quelle circonstance l'eau sous pression pourra-t-elle fournir cette solution si cherchée de la distribution à domicile de la force motrice?

Même pour produire des puissances minimes, le volume d'eau à dépenser est fort considérable. Ainsi, sous une charge déjà élevée de 50 mètres, un cheval-vapeur consommerait par journée de travail un cube de 70 à 100 mètres au moins. Cette considération suffit pour écarter à peu près complètement tous les cas où il s'agit de développer un travail mécanique un peu important.

En outre, pour que la solution dont il s'agit soit applicable, il

faut que l'une ou l'autre des conditions suivantes soit remplie : ou bien que l'eau sous pression soit livrée à un prix très bas, et ce cas se présentera assez rarement dans les distributions un peu développées, à cause des dépenses afférentes à une canalisation étendue; ou bien que le travail soit tout à fait intermittent, et n'ait lieu qu'à des intervalles courts et éloignés, de telle sorte qu'au bout de la journée la consommation totale d'eau soit petite; c'est le cas des appareils hydrauliques du système Armstrong, sur lesquels nous aurons à revenir; ou enfin que la puissance à développer soit très petite. C'est ce dernier cas que nous allons examiner plus en détail.

Même en supposant cette condition satisfaite, la dépense résultant de l'eau consommée ne laissera pas que d'être assez élevée. Il convient donc de recueillir la force contenue dans l'eau sous pression au moyen de récepteurs qui l'utilisent aussi complètement que possible. A ce point de vue, et surtout pour les faibles puissances et les fortes charges, les machines à colonne d'eau offrent une supériorité considérable sur les turbines et autres appareils analogues. C'est aussi au moyen d'appareils à colonne d'eau qu'ont été réalisés la plupart des essais qui ont donné des résultats sérieux dans cette voie. Nous allons examiner quelques-uns des plus remarquables.

Pour les petits moteurs à action continue, le dessin d'ensemble ne diffère pas de celui des machines à vapeur. La machine se compose d'un piston étanche parcourant un cylindre, dont les deux extrémités sont mises alternativement en relation avec l'eau en pression et avec l'échappement, au moyen d'une distribution; le mouvement rectiligne alternatif est transformé, sur un arbre de couche, en un mouvement de rotation continue, au moyen d'un système quelconque de transmission mécanique.

Les caractères distinctifs de ces appareils résultent des propriétés spéciales du liquide qui les actionne, à savoir : une densité élevée et une incompressibilité presque parfaite; ces propriétés influent à la fois sur les proportions et sur les dispositions du système. Ainsi, d'une part, les orifices, les conduites et les lumières

sont très larges, de telle sorte que la vitesse de l'eau qui les parcourt ne dépasse pas quelques décimètres par seconde; en second lieu, les espaces dits *nuisibles* dans les machines à vapeur peuvent ici être fort grands sans aucun inconvénient; la distribution est nécessairement établie suivant la *réglementation normale*, c'est-à-dire avec pleine admission et plein échappement pendant toute la course du piston, sans avance notable; enfin un réservoir d'air est installé à l'entrée de la boîte de distribution, afin d'éviter les coups de bélier que produiraient les variations du débit, qui à chaque instant est proportionnel à la vitesse du piston.

Les moteurs construits par M. Schmid (A.), de Zurich, sont surtout utilisés comme moteurs domestiques; ils se sont fort répandus dans certaines villes de Suisse, où la configuration montagneuse de la contrée permet d'établir à bon compte des distributions d'eau sous forte charge. Le type le plus simple et le plus usité construit par M. Schmid est le petit moteur à un cylindre oscillant, représenté par les figures 52 et 53. La distribution de l'eau

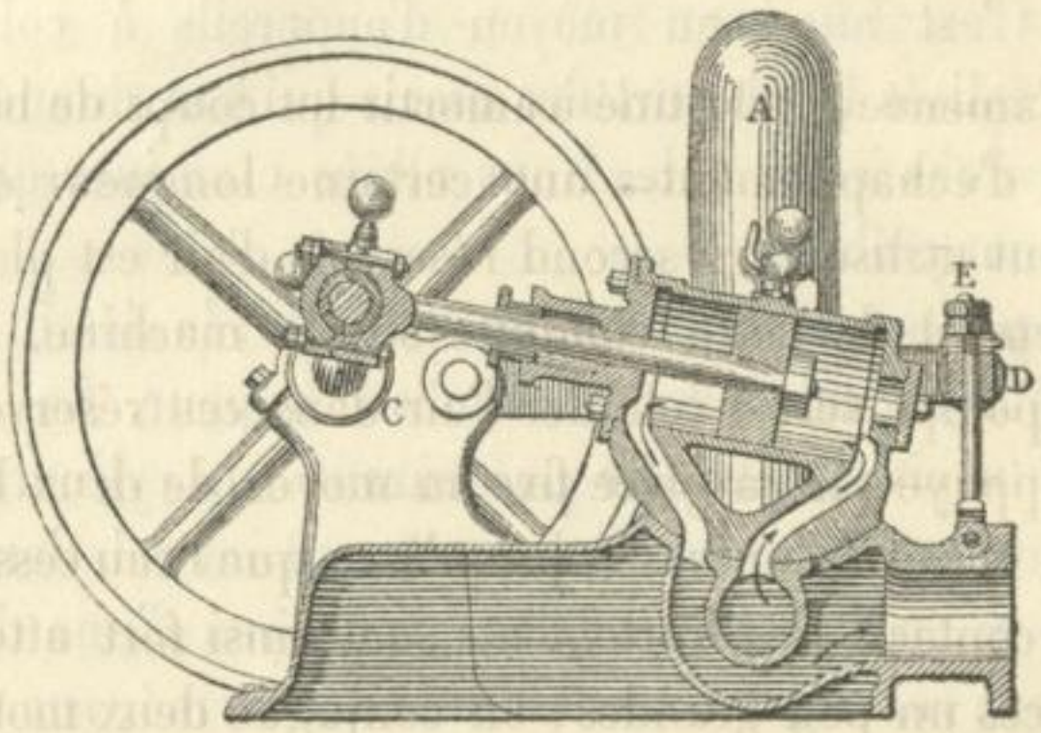


Fig. 52. — Moteur Schmid.

est produite par l'oscillation même du cylindre; grâce aux grandes dimensions des lumières, la vitesse du piston peut varier beaucoup, sans qu'il se produise de choc ni de remous.

Le mode de distribution adopté dans ces moteurs s'adapte fort bien à la réglementation normale.

La vue ci-dessous (fig. 53) montre le moteur Schmid en perspective. On remarquera en A le réservoir d'air branché sur la

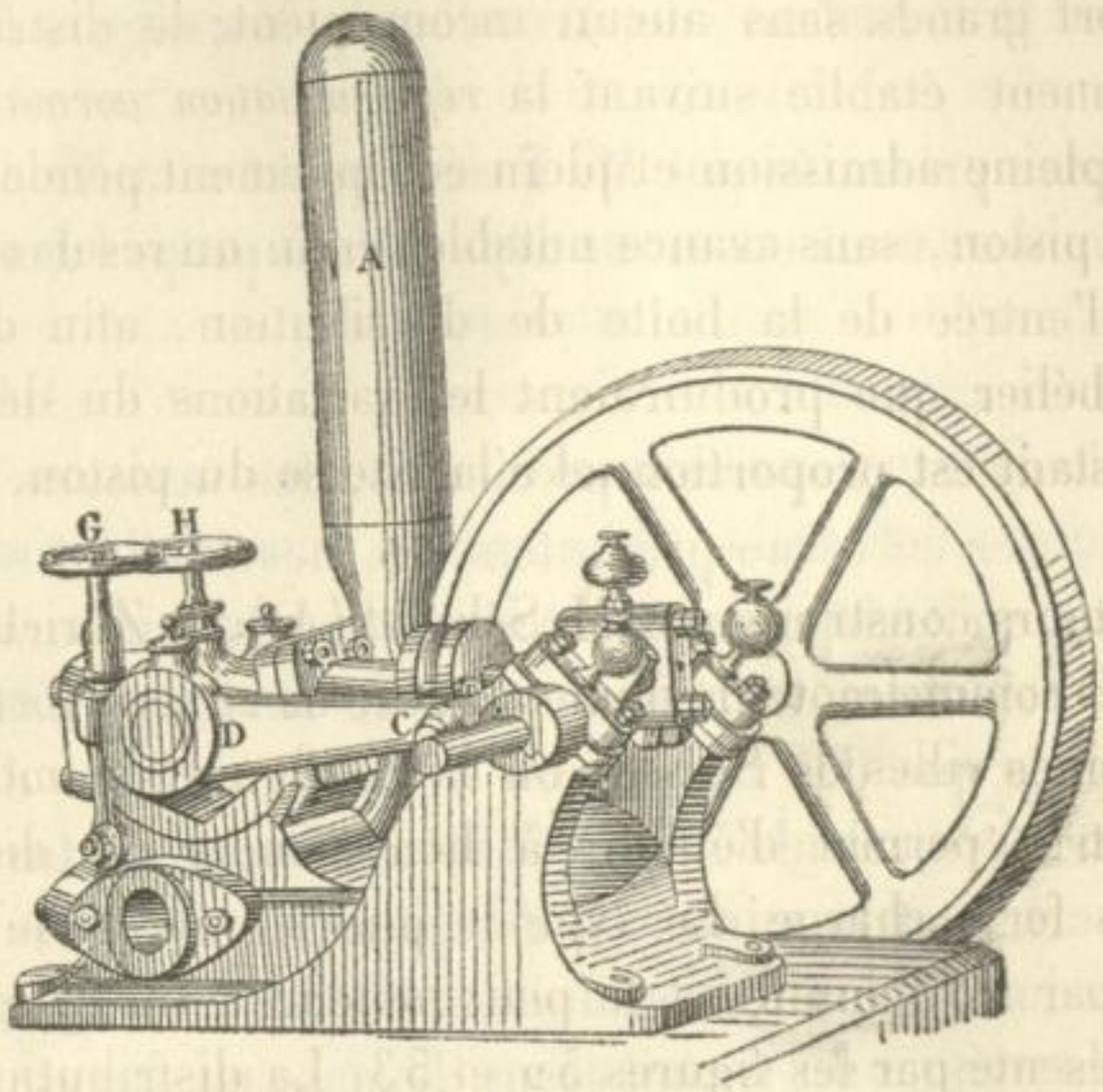


Fig. 53. — Moteur Schmid. (Vue perspective.)

conduite d'amenée, et destiné à amortir les coups de bélier; quand la conduite d'échappement a une certaine longueur et une pente que l'on veut utiliser, un second réservoir d'air est placé au point de branchement de cette conduite sur la machine. Quelquefois une petite pompe sert à refouler l'air dans ces réservoirs. Le cylindre est appuyé sur sa glace fixe au moyen de deux leviers et de deux vis G, H, que l'on serre jusqu'à ce que l'eau cesse de suinter le long du contact. Les frottements sont ainsi fort atténués. Pour les puissances un peu grandes, on conjugue deux moteurs sur un même arbre.

L'exécution de ces machines ne laisse rien à désirer; leur marche est tranquille, silencieuse et régulière, et, d'après les renseignements fournis au jury, leur rendement est fort élevé.

M. Pézerat, de Paris, expose un petit moteur pour ouvrier en chambre, qu'il appelle le *Compagnon* : c'est une petite machine

Gr. VI. — Cl. 54.

verticale à simple effet, à cylindre oscillant, et qui comporte des détails ingénieux.

D'autres petites machines à colonne d'eau intéressantes sont exposées par MM. Nielsen, de Trondhjem (Norwège), Jaspar, de Liège, etc.

La machine présentée par M. Taverdon est rotative et du système Braconnier; nous en avons déjà parlé à propos des machines à vapeur.

A côté de leurs propriétés précieuses, les moteurs que nous venons de passer en revue présentent un inconvénient sérieux : le volume d'eau qu'ils dépensent par révolution est toujours le même, quelles que soient les variations, tant de la charge dans la conduite d'amenée que des résistances à vaincre. Leurs dimensions doivent donc être calculées d'après le maximum de travail qu'ils auront à fournir, et le minimum des pressions variables qui pourront se produire dans les conduites; c'est-à-dire que, dans les conditions moyennes du travail, leur dépense en eau est fortement exagérée et l'effet utile très réduit. A l'état de vitesse uniforme, il y a forcément équilibre dynamique entre le travail résistant et le travail moteur; et, dans les machines dont il s'agit, ce dernier ne peut être réglé que par l'étranglement de conduite, produisant une perte de la charge disponible, et agissant à la manière d'un frein. Dans la machine à vapeur, les étranglements à l'admission, pratiqués sur un fluide élastique et surtout condensable, sont loin d'avoir des effets aussi désastreux; mais ici, les pertes de charge introduites artificiellement entraînent une perte sèche de travail, sans diminuer en rien la consommation d'eau.

M. le professeur Josef Winter, de Grætz (Autriche), s'est bien rendu compte de cette difficulté, et l'a ingénieusement surmontée, dans une machine à colonne d'eau construite par la maison Körösi (J.), de Grætz. La lumière d'échappement du cylindre peut être réunie, par un tiroir spécial, avec l'orifice d'entrée de l'eau sous pression dans la boîte de distribution, et ce tiroir est mû par un excentrique avec transmission, au moyen d'un déclenchement gouverné par un régulateur centrifuge. A la vitesse de régime, les

orifices d'amenée et d'échappement sont séparés; mais si cette vitesse vient à augmenter, le régulateur déclenche la commande du tiroir spécial, celui-ci se déplace et fait communiquer les deux orifices; dès lors, la même pression règne sur les deux faces du piston, et le travail moteur cesse de se produire, en même temps que la dépense d'eau est suspendue. Le travail moteur ne se produit donc que par intermittence; le mouvement, dans les intervalles, est entretenu par un volant puissant, jusqu'à ce que, la résistance ayant absorbé l'excès de puissance vive accumulée dans le volant, le régulateur retombe à son niveau normal et rétablisse l'action de la pression de l'eau. Ce dispositif traduit une analyse attentive et fine du mode d'action des machines à colonne d'eau, et a excité vivement l'intérêt du jury.

Nous terminerons cette étude des récepteurs hydrauliques par l'examen de quelques appareils ingénieux, donnant des solutions bien appropriées à certains cas particuliers.

M. Dudon-Mahon, de Soissons, expose un *balancier hydraulique*, destiné à utiliser la force motrice fournie, sous une petite chute, par une source à faible débit. L'appareil est composé d'un lourd pendule, dont la tige porte deux grands bras, qui lui sont perpendiculaires et se terminent par deux vases; le filet d'eau qui alimente le moteur débouche un peu au-dessus de l'axe d'oscillation, et, par un système de distribution bien connu, verse son liquide successivement dans l'un ou l'autre vase; ceux-ci se vident d'eux-mêmes lorsqu'ils sont arrivés à la partie inférieure de leur course; l'excès de poids résultant de la présence du liquide successivement dans l'un ou l'autre vase entretient les oscillations du pendule, qui sont lentes et régulières; on peut ainsi mettre en mouvement une pompe foulante, et alimenter sans frais une ferme ou un château. L'appareil exposé faisait six oscillations par minute, et dépensait 5 litres d'eau par oscillation. Ce dispositif ingénieux ne paraît pas d'ailleurs entièrement nouveau.

Un spécimen du système de *puits à chute motrice* de M. Hanriau était exposé dans l'annexe de la berge. M. G. Hanriau, de Meaux

Gr. VI. — Cl. 54.

(Seine-et-Marne), s'est préoccupé d'utiliser, d'une façon pratique, le travail, généralement perdu, de certaines chutes d'eau souterraines, qui, dans quelques pays dépourvus de cours d'eau de surface, peuvent rendre de précieux services. On sait, en effet, que dans certaines régions les couches imperméables et absorbantes alternent, de telle sorte qu'un puits qui donne de l'eau à une profondeur de 8 mètres, par exemple, pourra perdre toute son eau si on l'approfondit à 20 ou 30 mètres, jusqu'à la rencontre d'une couche absorbante. Cette perte d'eau souterraine constitue une chute, dont la hauteur est égale à la différence de niveau qui sépare la couche aquifère de la couche absorbante, et il peut y avoir intérêt à mettre à profit le travail moteur de cette chute, pour faire remonter à la surface du sol des eaux qui resteraient sans emploi.

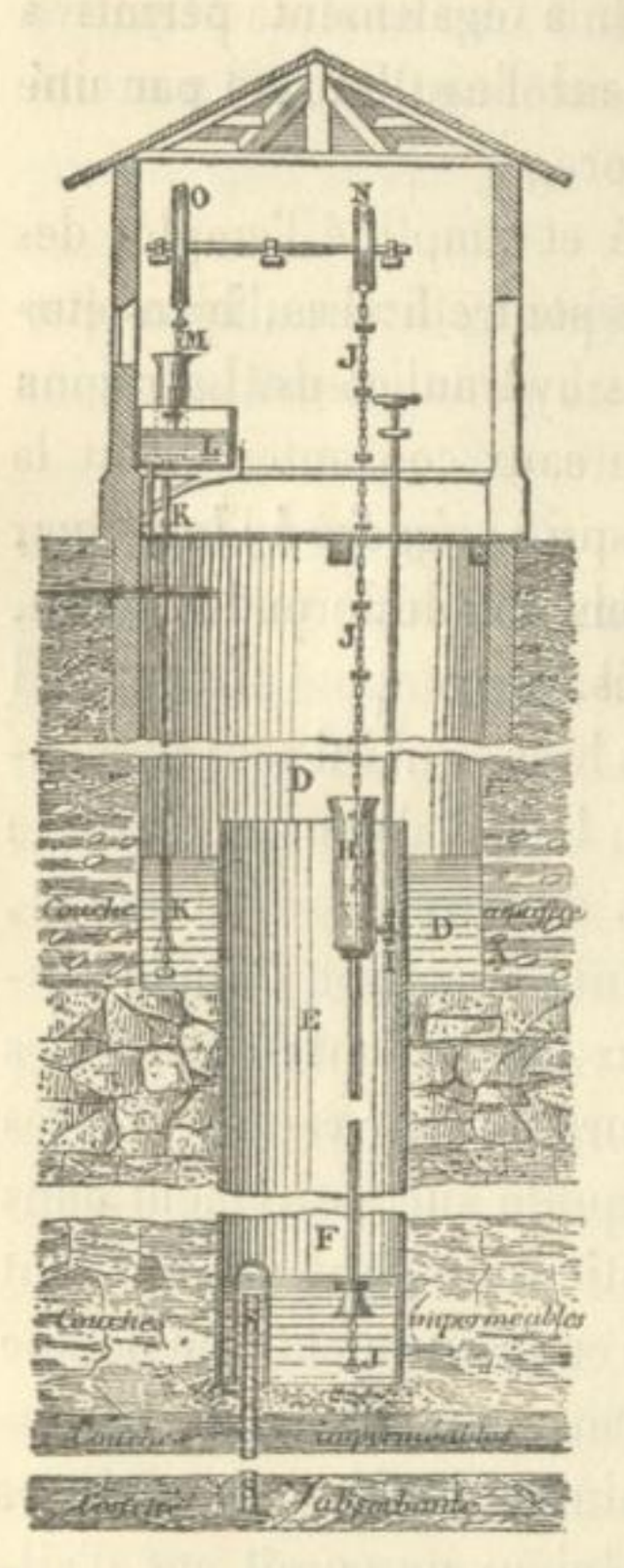


Fig. 54. — Puits à chute motrice de M. Hanriau.

Ce principe avait déjà été formulé, et même appliqué, par MM. Mignon et Rouart, à l'aide du bélier hydraulique; mais M. Hanriau a fait faire un grand pas à la question, en substituant à ce moteur des récepteurs modifiés par lui d'une manière ingénieuse. Après plusieurs essais, le choix de cet inventeur s'est fixé sur deux appareils bien connus : le chapelet hydraulique et la fontaine de Héron.

La figure 54 montre comment est installé et fonctionne le chapelet élévateur, qui alimente le lavoir de la commune de Bailly-Romainvilliers (Seine-et-Marne).

Au fond du puits D, où se rassemblent les eaux de la couche aquifère, M. Hanriau a pratiqué, en le prolongeant jusqu'à la première couche absorbante, un fo-

rage tubé ER, qui fonctionne à sa partie inférieure comme puits absorbant.

Dans ce forage est monté un chapelet passant dans le tube HJ, où il reçoit l'action motrice, produite par l'écoulement à travers le robinet I, d'une partie de l'eau du puits D. Cette première chaîne motrice met en mouvement la poulie N, sur laquelle s'enroule une seconde chaîne à chapelets plus petite, laquelle, remontant dans le tuyau KK, élève une certaine quantité d'eau et la déverse au-dessus de la surface du sol.

L'application de la fontaine de Héron, dont le jeu est rendu automatique par un artifice très simple, a également permis à M. Hanriau d'élever à un niveau supérieur l'eau fournie par une nappe dans une partie quelconque du forage.

En résumé, M. Hanriau a généralisé et simplifié l'emploi des chutes d'eau souterraines. Ses appareils sont efficaces, bien étudiés, et méritent d'attirer l'attention des hydrauliciens. La région qu'habite M. Hanriau est fort pauvre en eaux courantes; c'est la constitution géologique de cette région, qui a suggéré à l'inventeur l'idée de ces ingénieux appareils, lesquels ont déjà rendu à l'agriculture et à l'industrie de sérieux services.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION III.

ACCUMULATEURS ET PRESSES HYDRAULIQUES.

Sommaire. — Presses hydrauliques. — Système Armstrong. — Accumulateurs. — Pressions en usage. — Presses à pressions échelonnées. — Presses de Burguy, de Hédiard. — Contrôleur de Bernard. — Exposition de l'*Hydraulic engineering Company*. — Accumulateur de Tweddell. — Transmission hydraulique d'Angély.

Dans la section précédente, nous avons eu à examiner quelques récepteurs mis en mouvement par l'eau sous pression. Nous allons maintenant étudier des machines dans lesquelles l'eau sous pression entre également en jeu, mais avec cette différence que la pression, au lieu de n'être que de quelques atmosphères, est fort élevée, ce qui imprime à ces appareils une physionomie particulière.

La presse hydraulique, cette machine merveilleuse par sa simplicité, qui met dans la main d'un homme les efforts les plus énormes, et traduit, sous une forme presque élémentaire, les principes de la conservation du travail et de la transmission des pressions dans les fluides, la presse hydraulique, inventée, dit-on, par Pascal, n'a pris sa place définitive dans l'industrie que le jour où le cuir embouti, un simple détail de construction, a permis de tenir étanche le joint du piston. La sûreté de marche, la commodité, la puissance presque illimitée de cette machine, en ont rapidement vulgarisé les emplois; et, dans un grand nombre de fabriques, elle est devenue d'un usage permanent.

Dans la presse hydraulique, la main de l'ouvrier, agissant sur la pompe de pression, parcourt, en exerçant un faible effort, un chemin considérable; le travail ainsi développé est transmis au piston de la presse; mais l'ordre de grandeur des deux facteurs du travail est ici renversé : le parcours est très petit et l'effort considérable. Si, dans une usine, les pressées à faire sont nombreuses, comme par exemple dans les fabriques d'huile, de bougies, de tuyaux, etc.,

le service est fait par une série de presses hydrauliques, mises en relation, par une canalisation, avec une batterie de pompes foulantes, actionnées par la vapeur; le conducteur de chaque presse n'a plus dès lors, au moment voulu, qu'à ouvrir un robinet pour faire agir son appareil.

Sir William Armstrong eut, il y a quelque vingt ans, l'idée d'étendre ce système, dans de larges proportions, à toutes les manœuvres de force à opérer aux différents points des plus vastes ateliers. L'idée en elle-même ne présente rien que de fort simple. Mais la mise en pratique exigeait une véritable audace, et elle ne laissa pas que de soulever des difficultés de toute nature. Il fallait créer des récepteurs spéciaux, répondant à des exigences nouvelles et variées à l'infini; assurer, tant aux conduites qu'aux joints des appareils, une étanchéité parfaite, tout en permettant le libre jeu des dilatations; prendre des précautions efficaces contre l'action des gelées, contre les effets de l'usure et de l'impureté des eaux, etc. Toutes ces difficultés furent attaquées et surmontées, grâce à des détails de construction aussi ingénieux que bien entendus. Les applications du système Armstrong ne tardèrent pas à se multiplier, et reçurent les développements les plus importants; des conduites d'eau à haute pression s'étendirent le long des voies des gares de chemin de fer, des quais des ports de mer et des docks, aux divers étages des grands ateliers de manutention, dans les bâtiments des usines, sous les ponts des navires de guerre, etc. La pression est ainsi distribuée aux récepteurs les plus variés, grues, cabestans, machines à mâter, monte-charge, ascenseurs, appareils pour la manœuvre des portes d'écluse et des ponts tournants, des énormes canons de la marine et des tourelles qui les protègent, machines à river, à poinçonner, à cisailler, etc. Le spectacle des ateliers animés par des installations de cette nature est certainement un des plus étonnants que puisse offrir l'industrie moderne: des ouvriers, en fort petit nombre, font mouvoir sans peine, et comme en se jouant, quelques leviers, et immédiatement les masses les plus énormes sont soulevées, retournées, maniées et déposées au point voulu, sans hésitation et avec une précision parfaite; la force mysté-

rieuse fait son devoir avec une puissance irrésistible, mais avec une docilité et une souplesse merveilleuses, et sans que le moindre bruit vienne trahir l'effort qui s'exerce.

Une distribution de travail par l'eau comprimée se compose essentiellement de trois éléments : les *pompes foulantes*, qui alimentent le système, les *récepteurs*, en nombre plus ou moins grand, et la *conduite* d'eau sous pression, doublée parfois d'une conduite de retour, qui ramène auprès des pompes les eaux d'échappement. Le travail du moteur qui agit sur les pompes est ainsi transmis à distance aux divers récepteurs, souvent échelonnés le long de la conduite sur plusieurs centaines de mètres.

Dans une transmission pareille, les pertes de travail résultant des frottements et des résistances passives sont fort importantes. C'est surtout dans les cas, très fréquents, où les résistances à surmonter sont variables, que ces pertes atteignent un taux élevé. Une grue hydraulique, par exemple, calculée pour soulever un poids de 2,000 kilogrammes, dépensera à chacune de ses opérations le même volume d'eau, que sa charge soit entière ou qu'elle ne soit que de 1,000 ou de 500 kilogrammes; dans le cas où elle travaillera à charge réduite, la pression qui règne dans la conduite sera diminuée par les étranglements, obtenus artificiellement par l'ouverture incomplète des robinets; ceux-ci agissent alors à la manière d'un frein, et créent au passage de l'eau des frottements qui absorbent en pure perte l'excédent du travail disponible sur le travail réalisé.

Pour toutes ces raisons, et si l'on s'en tient au point de vue exclusif du rendement dynamique, l'eau comprimée est un très médiocre outil de transmission du travail. Aussi ne s'applique-t-elle ordinairement qu'aux cas où le travail est essentiellement intermittent.

Reprenons l'exemple ci-dessus, celui d'une grue hydraulique pour le déchargement des navires, et supposons-la capable d'élever 2,000 kilogrammes à 10 mètres de hauteur; admettons que l'élévation de cette charge ne dure que dix secondes. La puissance développée pendant ce temps sera d'environ 28 chevaux-vapeur. Mais si,

comme c'est le cas dans la pratique, l'opération est intermittente; si, quand la grue est en fonction, le temps absorbé par le chargement, l'accrochage, le transport horizontal et le déchargement des fardeaux, est tel que l'on ne puisse faire qu'un petit nombre d'opérations par heure; si, de plus, par suite des manœuvres nécessaires pour amener à portée, soit les navires à décharger, soit les wagons qui doivent évacuer leur cargaison, une partie du temps seulement est utilisée pour l'opération proprement dite du déchargement; si enfin la hauteur d'élévation est habituellement inférieure au maximum pour lequel la grue a été établie, alors le travail calculé sur la moyenne n'atteindra qu'une fraction de cheval-vapeur. Si la grue était actionnée directement par une machine à vapeur, il faudrait donner à cette machine, malgré les intermittences du travail, une puissance calculée d'après le travail maximum à développer. Il en est tout autrement si l'on fait agir la machine à vapeur, non plus immédiatement sur la grue, mais sur des pompes foulantes, comprimant l'eau dans un réservoir sous pression, dans lequel elle s'emmagasine, pour se dépenser au moment voulu et en quelques instants. Il suffit dans ce cas d'une machine à vapeur de faible puissance, suffisant seulement pour subvenir au travail moyen, réparti sur une longue durée. Ce réservoir de travail constitue un des traits caractéristiques des installations que nous étudions; il a reçu le nom significatif d'*accumulateur*.

On connaît la construction de cet appareil: c'est une simple presse, dont le piston plongeur à longue course porte une charge considérable. Quand la dépense d'eau comprimée diminue, l'eau en excédent fournie par les pompes se loge sous le piston, en soulevant le poids dont il est chargé; lorsque cette dépense est plus grande que le débit des pompes, ce poids s'abaisse, en refoulant dans la distribution le volume d'eau complémentaire. Grâce à l'accumulateur, et quelles que soient les variations du travail, la pression de l'eau dans la conduite reste constante, et ne dépend plus que de la section du piston de la presse et de la charge qui pèse sur sa tête.

Mais c'est surtout dans les installations un peu étendues, et com-

Gr. VI. — Cl. 54.

posées d'un grand nombre de récepteurs, que l'accumulateur joue un rôle de première importance.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de desservir les quais d'un grand port de commerce, comportant, outre les appareils divers mus par l'eau comprimée, une centaine de grues de déchargement. Les grues hydrauliques, très simples de mécanisme, fort robustes, occupant peu de place, toujours prêtes à mettre en action, sont tout à fait appropriées à un pareil service. Les manœuvres exécutées par ces différents récepteurs sont très loin d'être concordantes; de sorte que, d'une seconde à l'autre, la dépense d'eau comprimée varie dans les plus larges limites. Mais, grâce à l'interposition de l'accumulateur, les machines motrices peuvent actionner les pompes foulantes d'une manière continue. Elles n'ont à s'arrêter que lorsque l'accumulateur est complètement chargé, et que le plongeur est à bout de course. Cet arrêt s'obtient d'ailleurs automatiquement et de la manière la plus simple : le piston de l'accumulateur, au moment où il est près d'atteindre à sa plus grande élévation, touche un doigt mobile, qui, par une transmission, ferme l'arrivée de vapeur.

Ainsi, en résumé, les appareils agissant par transmission hydraulique, complétés par l'accumulateur, se présentent avec les propriétés suivantes : comme rendement dynamique, ils sont fort défectueux, et n'utilisent qu'une faible partie de la puissance qui leur est communiquée. Mais cette infériorité est rachetée par des avantages pratiques, qui sont d'une valeur inappréciable dans un grand nombre de cas, et en particulier lorsque le travail est dépensé par intermittence. En premier lieu, le réseau de distribution se prête commodément à toutes les inflexions et à toutes les subdivisions; la conduite, d'un faible diamètre, peut, sans grands frais, s'étendre fort loin, être suspendue, ou se placer dans des caniveaux, et pénétrer jusqu'aux outils placés dans les angles les plus reculés des bâtiments. En second lieu, les récepteurs hydrauliques sont en général fort simples comme mécanisme, et peu susceptibles de se déranger; ils ne présentent aucun danger, leur mise en action est obtenue par quelques mouvements de leviers, et leur manœuvre est à la portée des ouvriers les plus ordinaires;

enfin ils sont très puissants sous un volume restreint, surtout si, comme c'est l'habitude, on fait usage d'eau à haute pression. Gr. VI. — Cl. 54.

Sir Armstrong s'était, dès le premier jour, rendu compte des avantages des pressions élevées; elles permettent de réduire dans des proportions considérables les dimensions, le poids et les dépenses d'installation aussi bien des machines que des conduites. Les pressions en usage aujourd'hui s'élèvent souvent à 200 ou 300 atmosphères; dans les transmissions à grande distance, on se contente de 50 à 100 atmosphères, afin d'atténuer les pertes résultant des fuites.

Les appareils à pression hydraulique sont encore remarquables par l'extrême précision de leur manœuvre; l'eau qui les actionne étant incompressible, la vitesse du piston peut être gouvernée rigoureusement, et arrêtée à volonté par l'étranglement ou la fermeture du régulateur d'admission. Ce régulateur constitue lui-même un frein très puissant, et bien plus parfait que les freins ordinaires à frottement, puisqu'il est mis en action sans effort, et qu'il fonctionne sans que ses organes s'échauffent ou s'usent. Il est arrivé même que les propriétés précieuses du frein hydraulique l'ont fait adopter pour gouverner le mouvement d'appareils à vapeur; citons notamment les servo-moteurs, qui actionnent le gouvernail des grands navires et les changements de marche des machines marines.

A chaque coup de piston, les récepteurs dépensent un volume d'eau déterminé, quelle que soit la résistance qu'ils aient à surmonter. Depuis que l'emploi de ces machines s'est vulgarisé, les inconvénients de cette perte de la puissance motrice sont devenus quelquefois assez sérieux, pour faire désirer plus d'économie dans l'emploi de l'eau comprimée, et des recherches ont été faites dans cette direction. Le procédé à employer est fort simple, et analogue à celui appliqué déjà depuis longtemps dans les pompes foulantes qui servent à alimenter les presses hydrauliques. On sait, par exemple, comment on opère, dans les fabriques d'huile :

la pressée se fait en deux temps; on commence par une pression modérée, qui suffit pour réduire très notablement le volume de la masse à comprimer; puis on achève l'opération par un fort coup de presse, dans lequel la machine donne tout son effort, et exprime tout ce qui reste d'huile. On fait donc successivement agir deux pressions graduées, la dernière beaucoup plus forte que la première. Ce résultat est obtenu en munissant la pompe foulante de deux pistons de sections inégales; l'un deux, de section assez grande, suffit pour la première partie de l'opération; le second, de très petite section, donne une pression très énergique. Ce principe peut être appliqué au cas que nous examinons. Une disposition fort simple consiste à faire mouvoir un piston étanche dans un cylindre, à la manière ordinaire, et à munir ce piston d'une tige épaisse, passant par un presse-étoupe et formant plongeur. Quand la pression est admise à la fois sur les deux fonds du cylindre, l'effort exercé résulte de l'aire du plongeur; si l'on supprime la pression du côté du presse-étoupe, l'effort est mesuré par l'aire totale de la section du cylindre.

Ce système peut être également appliqué à l'accumulateur; la charge sur le piston restant constante, si l'on met en communication les deux fonds du cylindre, la pression donnée par l'appareil devient égale au quotient de cette charge par l'aire de la section de la tige, et peut être très grande si cette tige est mince.

Depuis quelques années, les récepteurs hydrauliques ont beaucoup gagné au point de vue de la légèreté; on est même parvenu à les rendre mobiles, ce qui en facilite l'emploi et en multiplie les usages. Ainsi on fait des grues hydrauliques roulant sur rails; la grue repose sur une voie par un truc porté sur quatre roues; la conduite d'eau comprimée est disposée le long de la voie, et armée d'un certain nombre de prises à raccords convenablement espacées; la grue étant amenée à l'emplacement où elle doit travailler, on la réunit au regard le plus voisin, au moyen d'un tuyau flexible composé de bouts articulés ou à joints télescopiques, et, en quelques minutes, l'appareil est prêt à entrer en fonction.

L'*Hydraulic engineering Company* expose une riveuse hydrau-

lique, appareil fort léger, suspendu à un bras de grue, et qui peut prendre toutes les positions et se tourner dans tous les sens; la pression lui est transmise par un long tube en cuivre, dont la flexibilité est suffisante pour permettre tous les mouvements de l'outil.

Les principes que nous venons de résumer ont reçu dans ces derniers temps les applications les plus variées, se rapportant aux industries les plus diverses, fabriques d'huile, céramique, métallurgie, forges, chemins de fer, etc. etc. L'examen de ces applications sortirait complètement du cadre qui nous est tracé. Le jury a dû renvoyer à d'autres classes tous les appareils se rapportant particulièrement à une fabrication spéciale, et nous n'aurons pas à les examiner. Même sans sortir du domaine de la mécanique générale, nous renverrons à d'autres chapitres l'étude des récepteurs qui peuvent fonctionner sous des pressions modérées, ainsi que celle des monte-charge hydrauliques, grues, ascenseurs, etc. Nous nous contenterons de passer ici en revue, parmi les appareils qui figuraient à l'Exposition, ceux, en petit nombre, qui se présentaient comme applicables d'une manière générale, et travaillaient sous de hautes pressions, en mentionnant seulement les plus intéressantes.

Comme presses hydrauliques, l'exposition de M. E. Burguy, de Bar-le-Duc, est fort remarquable. L'étude de ces machines est bien comprise, les dispositions fort bien entendues et l'exécution excellente; un des dispositifs qui ont attiré l'attention du jury est un système d'embrayage automatique, qui met en mouvement le piston d'injection de haute pression pour achever la pressée. Un appareil ayant le même objet est exposé par M. E. Hédiard, de Rouen.

M. V. Bernard, de Bavay, s'est proposé de donner à l'ingénieur d'une usine comportant un grand nombre de presses hydrauliques, ou d'autres appareils marchant par l'eau comprimée, les moyens de contrôler à chaque instant la pression qui s'exerce

Gr. VI. — Cl. 54.

dans chacun de ces appareils, de s'assurer notamment que nulle part elle ne dépasse la pression limite, au delà de laquelle la solidité des organes pourrait se trouver compromise. De chaque appareil part un petit tube, qui transmet la pression à distance à des systèmes manométriques, réunis dans le bureau de l'ingénieur.

Un grand nombre d'autres exposants présentent des presses hydrauliques ou des organes de presses, qui ne sont pas dépourvus d'intérêt, mais qui, par les motifs indiqués ci-dessus, ont dû être examinés par d'autres jurys que celui de la classe 54, et dont, par suite, nous n'avons pas à nous occuper ici.

L'une des expositions les plus remarquables d'appareils à pression d'eau est celle de l'*Hydraulic engineering Company*, de Chester (Angleterre); elle comporte de nombreuses applications du système Armstrong, parfaitement entendues et d'une exécution supérieure. Nous avons déjà eu l'occasion de mentionner les moteurs à trois cylindres de Brotherhood; la compagnie dont il s'agit en a fait une fort heureuse application, en les faisant travailler sous l'action de l'eau comprimée à haute pression, pour mettre en mouvement des treuils, répartis le long des quais des ports, aux abords des écluses, sur les berges des chenaux parcourus par des courants rapides, entre les voies des gares de chemins de fer, etc. Les manœuvres de force, qui exigeaient autrefois un temps énorme et un personnel considérable, s'exécutent aujourd'hui, grâce à ces installations nouvelles, avec une promptitude, une facilité et une précision inappréciables.

Ainsi qu'on peut le voir par la figure 55 ci-jointe, l'appareil est de la plus grande simplicité; la cloche du cabestan repose sur une plaque de fonte, et son axe est celui d'une machine Brotherhood à renversement de marche. Un simple mouvement de levier suffit pour la mettre en mouvement en avant ou en arrière, pour modérer la vitesse ou stopper au moment voulu. Cette machine, relativement récente, rend chaque jour les plus sérieux services dans un grand nombre d'installations importantes, faites en Angleterre et sur le continent.

A côté du cabestan vient se placer le treuil hydraulique: il est, de même, actionné par une machine à trois cylindres de Brotherhood, et l'ensemble est installé sur un truc de chemin de fer ou sur un chariot; la prise d'eau se fait à la bouche la plus voisine au moyen de tuyaux articulés.

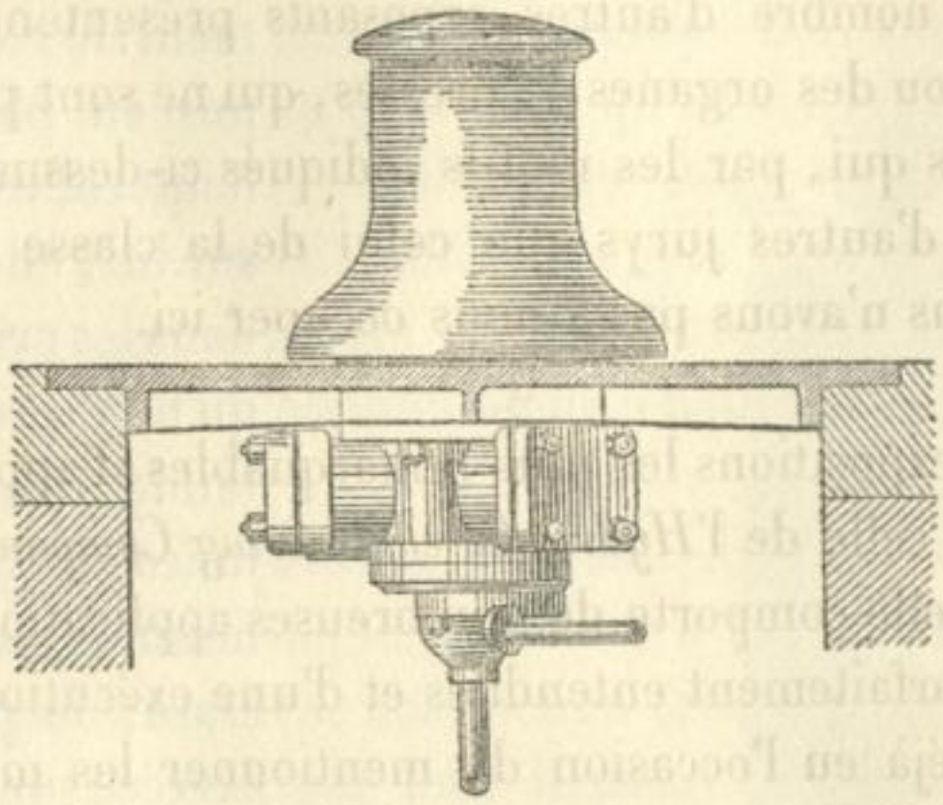


Fig. 55. — Cabestan hydraulique.

Nous ne parlerons pas ici des grues et autres appareils élévatoires, qui seront examinés dans un chapitre spécial.

L'*Hydraulic engineering Company* expose une série d'outils de forge et de chaudronnerie, construits sur les plans de l'ingénieur Ralph H. Tweddell, et qui présentent au plus haut degré les caractères de grande puissance et d'extrême facilité de conduite, qui sont propres aux appareils à pression d'eau; ce sont des poinçonneuses, des cisailleuses, des machines à forger, à dresser, à river, etc. etc. Nous n'avons pas à faire l'étude de ces remarquables appareils, mais nous ne devons pas passer sous silence un dispositif nouveau d'accumulateur, imaginé par M. Tweddell et représenté ci-contre (fig. 56).

Cet accumulateur est destiné à desservir une machine à river.

Les circonstances qui se rencontrent dans le travail du rivetage se reproduisent fréquemment dans diverses opérations industrielles; il ne sera donc pas hors de propos de les analyser, pour

bien faire comprendre le jeu de cet appareil. La pression à exercer sur la tête d'un rivet pour faire la rivure est fort élevée, mais le déplacement de la bouterolle n'est que de quelques centimètres, de sorte qu'en définitive le travail consommé n'est pas très considérable; d'ailleurs il se distribue fort inégalement: le rivet chaud étant mis en place, quand la bouterolle vient s'appuyer sur lui, elle ne rencontre dans les premiers instants qu'une résistance très faible; mais cette résistance croît rapidement, à mesure que le rivet s'écrase; la pression finale exercée sur la tête du rivet doit être très grande, et assez forte pour refouler le fer chaud et plastique, et le mouler exactement dans toutes les cavités de la tôle. Voyons comment l'accumulateur différentiel de Tweddell permet de remplir ces diverses conditions.

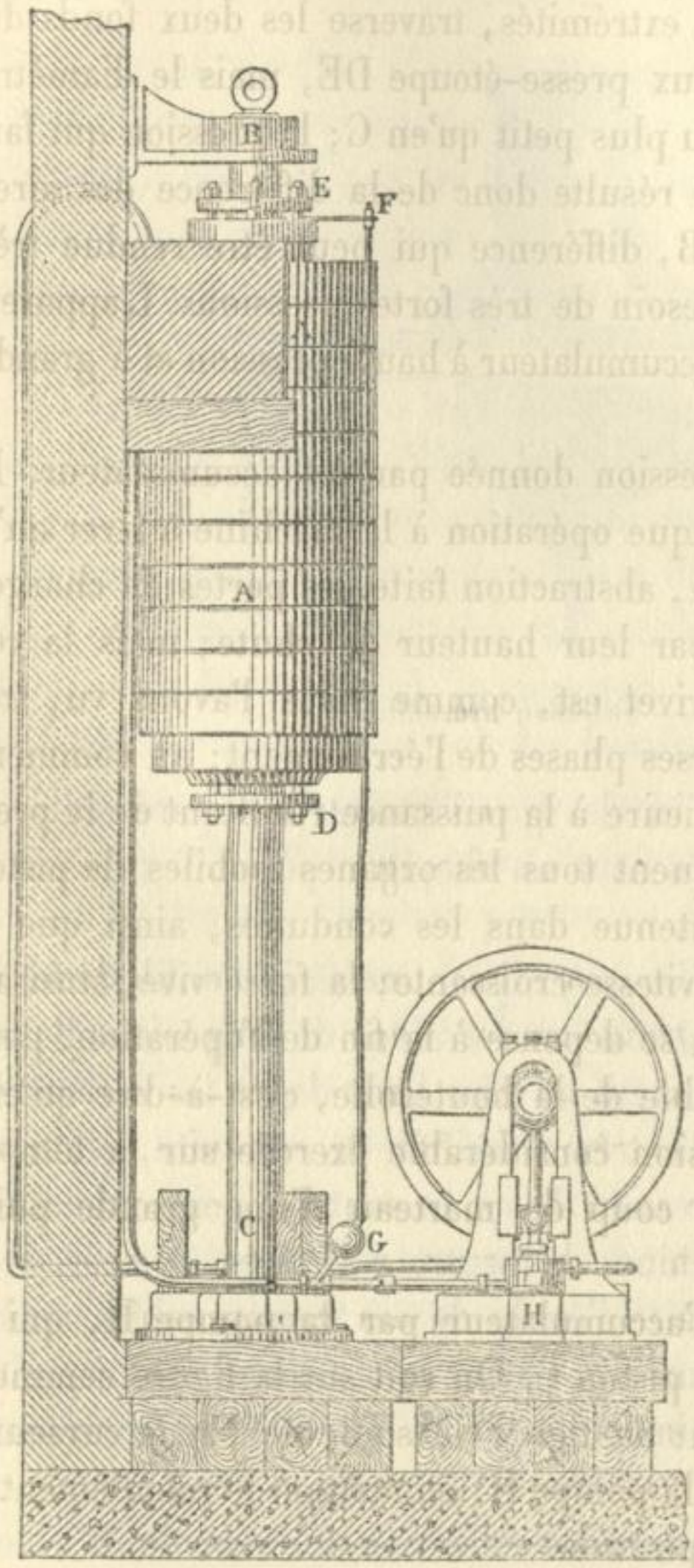


Fig. 56. — Accumulateur différentiel de Tweddell.

Pour produire les efforts énormes qu'exige la mise en place des rivets de grande dimension, tels que ceux aujourd'hui en usage dans les chaudières marines, il faut recourir à des pressions élevées, et l'on ne peut y arriver qu'en réduisant le diamètre du piston

de l'accumulateur; mais au delà de certaines limites, ce piston deviendrait trop mince et manquerait de solidité. Cette difficulté a été ingénieusement tournée; dans la figure ci-jointe, le piston BC est fixe, le cylindre hydraulique est mobile, et porte la charge, constituée par des anneaux de fonte AA; le piston, solidement tenu par ses deux extrémités, traverse les deux fonds du cylindre au moyen de deux presse-étoupe DE, mais le diamètre du piston en B est un peu plus petit qu'en C; la pression qui fait équilibre à la charge AA résulte donc de la différence des aires des sections en C et en B, différence qui peut être rendue très petite, quand on aura besoin de très fortes pressions. L'appareil en question est donc un accumulateur à haute pression et à grande course.

Quelle que soit la pression donnée par cet accumulateur, le travail communiqué à chaque opération à la machine à river qu'il commande a pour mesure, abstraction faite des pertes de charge, le produit des poids A par leur hauteur de chute; mais la résistance opposée par le rivet est, comme nous l'avons vu, très variable pendant les diverses phases de l'écrasement; au commencement, elle est très inférieure à la puissance résultant de la pression de l'eau; par conséquent tous les organes mobiles, le piston de la riveuse, l'eau contenue dans les conduites, ainsi que la charge A, prennent une vitesse croissante; la force vive, ainsi accumulée dans le système, se dépense à la fin de l'opération, pendant un parcours très faible de la bouterolle, c'est-à-dire qu'elle se traduit par une pression considérable exercée sur la tête du rivet. C'est un véritable coup de marteau d'une grande puissance.

L'eau est délivrée à l'accumulateur par la pompe H, qui la lance dans l'intérieur du piston C. On voit sur la figure comment le débrayage est obtenu: la tige FG, soulevée par le curseur à haut de course, débraye la pompe H, en mettant le refoulement en communication avec l'aspiration.

Nous passons sous silence d'autres appareils hydrauliques fort remarquables, exposés par la même maison; nous les retrouverons, ainsi que les crics hydrauliques, dont l'usage devient cou-

Gr. VI. — Cl. 54.

rant dans l'industrie, à propos des machines destinées à la manœuvre des fardeaux.

M. Angély, de Tarbes, a eu l'idée de se servir de la pression hydraulique, pour transmettre à une pompe placée au fond d'un puits le travail développé à la surface du sol (fig. 57).

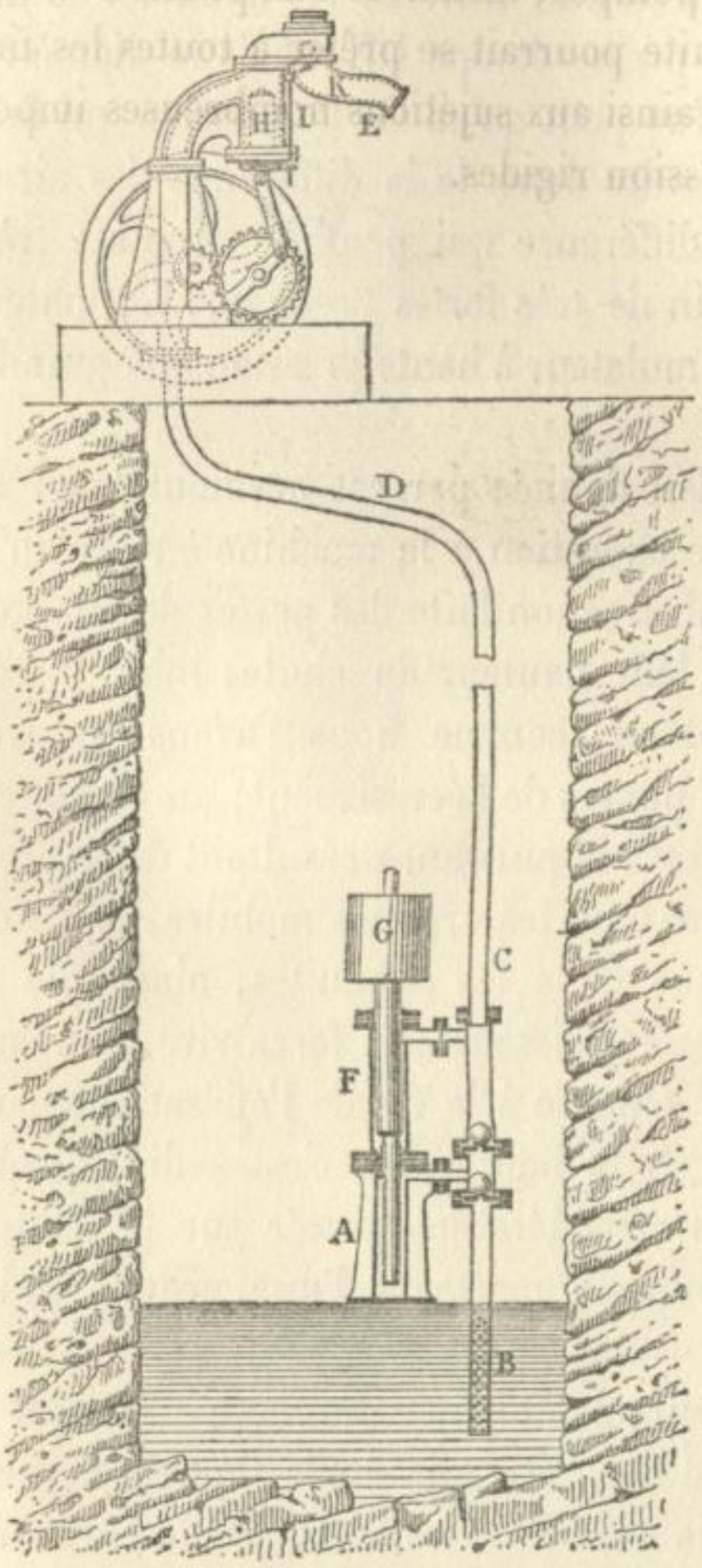


Fig. 57. — Appareil Angély.

Supposons attaché à la tige de la pompe le piston d'une presse hydraulique chargé d'un poids. Cette presse est reliée par une conduite à une pompe foulante placée à la surface; en manœuvrant cette pompe foulante, on soulève le piston de la presse et le poids qu'il supporte; si ensuite on supprime la pression, ce poids, en descendant, fera fonctionner la pompe placée au fond du puits.

Dans la machine de M. Angély, la conduite ascensionnelle est confondue avec la conduite de transmission. A est la pompe placée au fond du puits, F la presse hydraulique chargée par le poids G; CD est la conduite, H la pompe foulante placée à la surface; quand le piston H descend, son mouvement entraîne la tige I, qui ouvre le robinet K, par lequel se fait l'écoulement.

Cet appareil ne semble pas avoir été jusqu'ici appliqué pratiquement, mais le principe sur lequel il repose est ingénieux; il

semble susceptible de rendre des services dans plusieurs cas. Dans les mines notamment, une transmission de cette nature remplacerait peut-être avec avantage les longues et lourdes tiges qui commandent les pompes d'épuisement, et qui sont si coûteuses d'installation et d'entretien ; un seul moteur, placé à la surface, pourrait actionner plusieurs pompes, installées aux points bas des diverses galeries, et la conduite pourrait se prêter à toutes les inflexions du tracé, échappant ainsi aux sujétions nombreuses imposées aux organes de transmission rigides.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION IV.

APPAREILS HYDRAULIQUES DIVERS.

Sommaire. — *Compteurs d'eau.* — Jaugeages approximatifs.

Compteurs d'eau sous pression. — Compteurs à turbine de Faller, de Tylor. — Compteurs à piston de Schmid, de Kennedy, de Frager, d'Alley et Maclellan, de Mathelin et Garnier, de Valdelièvre. — Compteurs divers de Huard et Deniau, de Clausolles, de Tavan et Charrier, de Coque.

Compteurs d'eau sans pression. — Filtres de Bowing, de Le Tellier.

Robinets spéciaux de Chameroy, de Schrabetz, de Mathelin et Garnier.

Nous examinerons, dans la présente section, divers appareils hydrauliques, qui ne peuvent se rattacher aux sections précédentes: compteurs d'eau, filtres, robinets, etc.

Commençons par les compteurs. Le mesurage du volume des liquides est, en principe, une opération fort simple. Il suffit d'enfermer le fluide à mesurer dans un vase de formes régulières, et dont la capacité puisse être calculée, d'après ses dimensions linéaires, par les méthodes ordinaires que fournit la géométrie. Si le volume à mesurer est trop considérable, on transvase le fluide, en le répartissant dans une série de vaisseaux de capacités déterminées. Ce procédé primitif est resté jusqu'ici le plus exact, et c'est à peu près le seul qui puisse être appliqué avec certitude, lorsqu'on a besoin de résultats précis. Malheureusement il est absolument impraticable dans un grand nombre de cas, particulièrement lorsqu'il s'agit de jauger les débits d'un fluide qui s'écoule d'une manière continue.

Souvent alors le problème devient fort difficile, et l'on est obligé de se contenter de résultats approximatifs, obtenus par des méthodes indirectes et détournées.

Nous n'avons pas ici à étudier cette question dans toute sa généralité : un grand nombre d'appareils et de procédés de jaugeage échappent à la juridiction de la classe 54. Citons par exemple

ceux destinés à la mesure des grands mouvements de l'atmosphère, du débit des cours d'eau, de la consommation du gaz de l'éclairage, des vitesses des courants gazeux dans la ventilation et le chauffage, etc.

Nous n'aurons à examiner qu'un petit nombre d'appareils, ayant pour objet la mesure du débit fourni par un robinet ou une conduite.

De nombreuses tentatives ont été faites pour établir de bons *compteurs d'eau;* leur construction a donné lieu à bien des recherches ingénieuses et intéressantes. Cependant jusqu'ici aucune des solutions qui ont été proposées n'a reçu la sanction d'une pratique tout à fait générale.

On peut se demander comment il se fait que les compteurs d'eau n'aient pas obtenu un succès plus complet, alors que les compteurs à gaz, qui semblent répondre à un problème de même ordre, sont au contraire largement entrés dans les usages communs, et font journellement un service très satisfaisant.

Cette différence semble tenir à deux causes principales, l'une technique, l'autre économique. En premier lieu, le gaz, dans les conduites de distribution, se trouve d'ordinaire à une pression qui diffère à peine de la pression atmosphérique; cette circonstance supprime toutes les difficultés résultant de la compressibilité du fluide, de la résistance à donner aux organes, de la tenue des joints, de la hauteur des colonnes liquides équilibrant les différences de pressions, etc. D'autre part, une des causes les plus importantes du succès de ces appareils n'est autre que le prix élevé du gaz d'éclairage; en présence d'un produit aussi cher, il y a tout intérêt, aussi bien pour le vendeur que pour l'acheteur, à mesurer exactement la quantité de marchandise livrée, et à en éviter le gaspillage; c'est ainsi que les compagnies de gaz et le public ont été amenés à accepter, sans trop de difficultés, les frais et les sujétions d'installation et d'entretien qu'entraîne l'emploi de ces appareils, toujours un peu délicats.

En ce qui concerne les compteurs d'eau, le problème technique est plus difficile. Pour qu'un compteur soit d'un usage réellement pratique et général, il faut qu'il puisse mesurer le débit sous pres-

Gr. VI. — Cl. 54.

sion; de là des organes lourds et volumineux. Un des grands obstacles à la marche régulière des compteurs d'eau, c'est l'action de l'eau même sur les organes du compteur. Au contact de l'eau, les métaux s'oxydent; de plus, les eaux des conduites de distribution contiennent presque toujours, en suspension ou en dissolution, des poussières et des sels qui viennent se déposer dans les presse-étoupe, les articulations et les engrenages, et les détériorent rapidement, ou tout au moins en paralysent le jeu.

Ces difficultés sont sérieuses; il ne paraît pas douteux cependant qu'elles ne tarderont guère à être surmontées. La solution pratique et efficace devient chaque jour plus nécessaire. Le problème s'est surtout posé dans ces dernières années, et il est d'un grand intérêt pour les compagnies concessionnaires des distributions d'eau.

L'établissement d'une canalisation pour une distribution d'eau un peu importante est un travail considérable, qui doit être fait d'ensemble, en vue d'une consommation déterminée, et ne saurait, sans de très grandes dépenses, être remanié après coup. Il est donc de règle, quand on établit une canalisation, de l'installer sur des données assez larges pour satisfaire, non seulement aux besoins immédiats, mais encore à ceux qui pourront se manifester dans un avenir assez éloigné. Mais, d'autre part, la consommation est loin de se développer subitement; ce n'est pas du jour au lendemain qu'une population, tenue jusque-là à la ration étroite, éprouve le besoin d'user largement de l'eau mise à sa disposition. Il en résulte que, pendant de longues années, la puissance de la distribution est de beaucoup supérieure à la consommation. Dans ces conditions, l'eau est délivrée largement et sans trop compter; les redevances payées par les consommateurs sont basées sur des évaluations grossières, obtenues par des procédés simples, mais complètement inexacts.

Ainsi on délivre souvent l'eau par *robinets libres,* mis à la disposition de l'abonné; la redevance est alors calculée sur le nombre de personnes composant la famille de l'abonné, sur le nombre de chevaux, de mètres carrés de jardin, etc.

D'autres fois le jaugeage est fait *à la jauge;* on installe dans

l'immeuble à desservir un réservoir qui reçoit un filet d'eau passant par un petit orifice de dimensions déterminées; la redevance est calculée sur les dimensions de cet orifice, sans tenir aucun compte des variations, souvent considérables, de la pression dans les conduites, non plus que des intermittences dans l'usage que l'abonné peut faire des eaux.

De pareils procédés n'ont pour eux d'autre mérite que celui d'une extrême simplicité; ils donnent lieu à un gaspillage souvent énorme. Ces inconvénients sont tolérables, à la rigueur, pendant les premières années d'exploitation, alors que les eaux disponibles sont largement surabondantes; mais ils deviennent absolument inadmissibles, dès que la consommation est comparable à la puissance de la distribution. Telle est aujourd'hui la situation pour un grand nombre d'entreprises de services d'eau. Le moment est arrivé où des méthodes exactes et précises de jaugeage vont devenir, dans beaucoup de cas, d'une nécessité absolue. L'examen des compteurs figurant à l'Exposition montre bien que cette nécessité est sentie, que chaque jour le problème est serré de plus près, et que, s'il n'est pas encore résolu en toute généralité et avec toute sûreté, du moins est-il évident que l'on touche à la solution.

Étudions en premier lieu les compteurs d'eau sous pression.

La plupart des récepteurs hydrauliques peuvent servir de compteurs; mais les appareils exposés pour fonctionner dans l'eau comprimée se rapportent à deux types principaux, les turbines et les machines à colonne d'eau; on voyait également, dans les galeries, quelques modèles de compteurs sous pression, fondés sur des principes spéciaux et dont nous aurons à parler.

Dans les compteurs à turbine, le mouvement de l'eau dans la conduite détermine la rotation d'un moulinet; l'axe de ce moulinet transmet le mouvement, par des engrenages, aux aiguilles d'un compteur de nombre de tours; un tarage préalable permet de déduire de ces indications le volume d'eau qui a traversé l'appareil.

Gr. VI. — Cl. 54.

La maison Spanner (A.-C.), de Vienne (Autriche), expose un compteur de cette espèce, construit sur les plans de M. E. Faller. Cet appareil, très ingénieux et assez simple, a attiré l'attention du jury par ses dispositions bien entendues et l'excellente exécution de tous ses organes. Il se compose (fig. 58) d'un moulinet

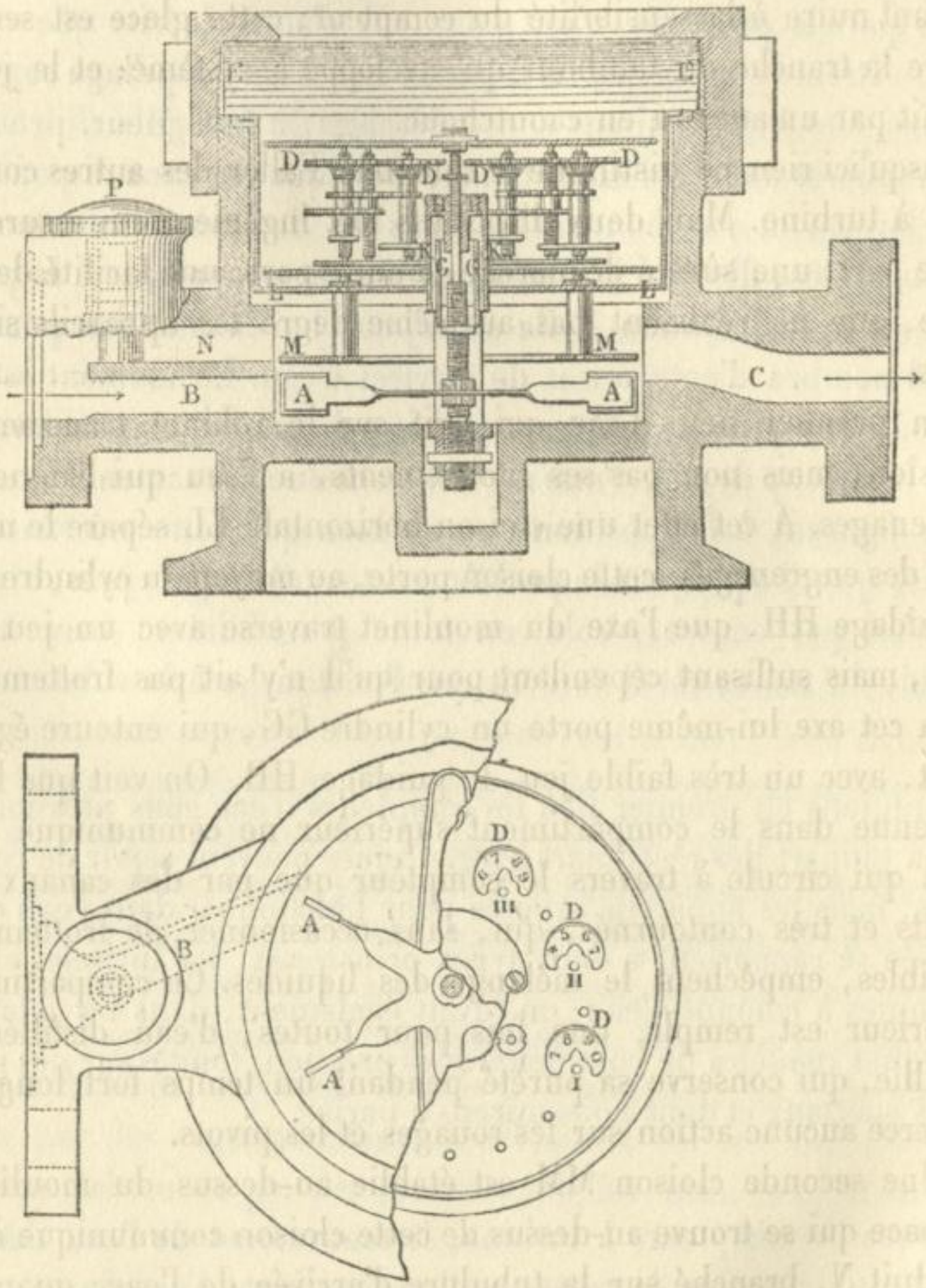


Fig. 58. — Compteur Faller.

AA en laiton, qui reçoit, par un conduit oblique BB, l'action de l'eau affluente. C est le conduit par lequel l'eau s'échappe, après

avoir agi sur les ailes du moulinet. L'axe du moulinet commande par engrenages les roues d'un compteur de tours, dont les cadrans DD viennent apparaître à travers des échancrures ménagées dans la monture de l'appareil. Une lame épaisse de glace EE ferme par le haut l'appareil, dont tous les organes se meuvent ainsi dans l'eau sous pression, sans l'intervention d'aucun presse-étoupe pouvant nuire à la sensibilité du compteur; cette glace est serrée contre la tranche du tambour qu'enveloppe le système, et le joint est fait par un anneau en caoutchouc.

Jusqu'ici rien ne distingue le compteur Faller des autres compteurs à turbine. Mais deux dispositifs fort ingénieux lui assurent, d'une part, une sûreté de marche, d'autre part, une facilité de réglage, que ne réalisent pas au même degré les appareils similaires.

En premier lieu, l'eau qui agit sur le robinet transmet sa pression, mais non pas ses mouvements, à l'eau qui baigne les engrenages. A cet effet une cloison horizontale LL sépare le moulinet des engrenages; cette cloison porte, au moyen du cylindre KK, le guidage HH, que l'axe du moulinet traverse avec un jeu très petit, mais suffisant cependant pour qu'il n'y ait pas frottement; enfin cet axe lui-même porte un cylindre GG, qui entoure également, avec un très faible jeu, le guidage HH. On voit que l'eau contenue dans le compartiment supérieur ne communique avec celle qui circule à travers le compteur que par des canaux très étroits et très contournés, qui, sans occasionner de frottements nuisibles, empêchent le mélange des liquides. Ce compartiment supérieur est rempli, une fois pour toutes, d'eau distillée et bouillie, qui conserve sa pureté pendant un temps fort long, et n'exerce aucune action sur les rouages et les pivots.

Une seconde cloison MM est établie au-dessus du moulinet; l'espace qui se trouve au-dessus de cette cloison communique à un conduit N, branché sur la tubulure d'arrivée de l'eau; quand la conduite N est fermée, toute l'eau affluente passe sur le moulinet; mais si l'on ouvre en partie cette conduite, l'eau va se partager en deux courants, circulant au-dessus et au-dessous de la cloison MM, et la vitesse de rotation du moulinet sera moins grande.

On peut donc, en ouvrant plus ou moins le canal N, modifier la vitesse de rotation du moulinet pour un débit donné, et, par conséquent, la régler de telle sorte qu'à un nombre déterminé de divisions du compteur corresponde le passage d'un nombre entier de mètres cubes d'eau. Ce réglage s'obtient au moyen de la vis P, qui manœuvre une petite soupape placée sur le parcours de la conduite N.

D'après les certificats qui ont été produits, le compteur Faller aurait une marche très régulière; il serait exposé à peu d'accidents et ne donnerait lieu qu'à une perte de charge insignifiante.

La maison anglaise Tylor et ses fils exposait des compteurs d'eau à moulinet, dont la construction a paru soignée et bien entendue, autant du moins qu'on en a pu juger sur la vue des appareils, les renseignements ayant fait défaut au jury.

Passons actuellement aux *compteurs à piston*. Le principe de ces appareils est très simple : ce sont des machines à colonne d'eau, dans lesquelles la résistance est supprimée et se réduit aux frottements; le nombre de coups de piston, multiplié par le volume d'une cylindrée, donne le volume d'eau qui a passé dans un temps donné : ce nombre est lu sur les cadrans d'un compteur actionné par les pistons.

Un appareil de cette espèce ne peut manquer de donner des résultats d'une grande exactitude, s'il est bien construit, bien proportionné au débit à mesurer et tenu en bon état. Malheureusement ces conditions ne sont pas toujours faciles à remplir.

Un compteur à piston comporte nécessairement des joints, une distribution, une transmission; en somme, c'est une machine assez compliquée, par conséquent chère et exposée à des fuites et à des avaries, surtout s'il fonctionne dans des eaux acides ou incrustantes; la vitesse des pistons doit être nécessairement petite, et par suite le volume de l'appareil assez grand.

Telles sont les difficultés auxquelles les constructeurs s'efforcent d'échapper, et l'Exposition a montré des résultats fort sérieux de ces recherches.

Citons en première ligne le compteur exposé par la maison Schmid, de Zurich, lequel n'est autre que le petit moteur à eau comprimée avec cylindre oscillant, dont il a déjà été question. Deux moteurs pareils sont conjugués sur un arbre, au moyen de manivelles à 90 degrés; un compteur de nombre de tours complète le système, qui fonctionne bien avec des eaux pures. Gr. VI. — Cl. 54.

La *Kennedy patent Water Meter Company*, de Kilmarnoch (Écosse), expose un compteur, dont l'organe principal est un cylindre parcouru librement par un long piston; la garniture est faite par un anneau en caoutchouc à section circulaire, qui roule à la fois sur la paroi du cylindre et sur celle du piston, lorsque ce dernier se déplace. Les compteurs Kennedy sont, paraît-il, d'un emploi assez général en Angleterre, où ils donnent de bons résultats.

Le caoutchouc est également employé comme garniture par la maison Ch. Michel, de Paris, mais sous la forme de bandes circulaires plates. Les compteurs du système Frager, que cette maison livre à l'industrie, font un bon service; ils se composent de deux cylindres à double effet juxtaposés; chaque cylindre commande la distribution du cylindre voisin. Le tout est groupé de manière à occuper le moins de place possible, dans une enveloppe commune, où se déposent les corps étrangers en suspension dans l'eau.

Plusieurs constructeurs exposent des compteurs qui ne sont autres que des machines du système Brotherhood plus ou moins modifiées; citons entre autres MM. Alley et Maclellan, de Glascow, Mathelin et Garnier, de Paris, etc. Le compteur de M. Valdelièvre, de Lille, composé de quatre cylindres à simple effet, a donné de bons résultats dans le département du Nord.

Il y avait encore à l'Exposition un grand nombre de compteurs d'eau à piston, que nous ne saurions tous décrire, quoique certains d'entre eux présentassent des dispositions intéressantes.

Passons aux systèmes de compteurs sous pression, qui ne se rapportent, comme principe, ni à la turbine, ni à la machine à colonne d'eau.

Dans les compteurs à piston ordinaires, les fuites et les frotte-

Gr. VI. — Cl. 54.

ments peuvent entraîner des perturbations notables. Plusieurs inventeurs ont cherché à tourner cette difficulté par l'emploi de diaphragmes élastiques (Huard aîné et Deniau, de Paris), ou de vases déformables (Emilio Claussolles, d'Espagne); ces dispositifs n'ont pas encore reçu la consécration de la pratique.

MM. Tavan et Charrier, de Nîmes, exposent un robinet-compteur d'un système ingénieux. C'est une soupape interposée sur la conduite dont on a à mesurer le débit; elle est légèrement chargée par un poids, de manière à produire entre l'amont et l'aval une faible différence de pression, en vertu de laquelle se produit l'écoulement; le corps de la soupape est taillé de telle sorte que, sous cette charge, le débit soit proportionnel à la levée de cette soupape.

La tige de la soupape est reliée à un petit tiroir, qui démasque un orifice, pratiqué dans la paroi d'un vase de Mariotte plein d'eau; l'aire ainsi découverte est proportionnelle à la levée de la soupape; la charge sur l'orifice étant constante, on voit que le débit de cet orifice sera, à chaque instant, dans un rapport déterminé avec celui de la conduite principale; il suffit donc, au bout d'un certain temps, de mesurer le volume d'eau qui s'est échappé du vase de Mariotte, pour avoir, à un coefficient près, le volume qui a passé par la conduite. Quant à ce coefficient, on peut l'obtenir par un tarage préliminaire. D'autre part, le débit du vase de Mariotte peut être assez petit, pour que le jaugeage du liquide qui s'en échappe puisse être obtenu avec exactitude par des procédés élémentaires.

L'application pratique des principes dont on vient de lire la description succincte ne laisse pas, sans doute, de soulever des objections sérieuses, mais l'idée fondamentale est ingénieuse. On a cherché par bien des moyens à réaliser matériellement l'intégration de quantités élémentaires, représentant le produit d'une longueur par un intervalle de temps; la solution se trouve ici obtenue par la mesure du volume d'eau qui s'échappe du vase de Mariotte; et peut-être y a-t-il là le germe d'applications nombreuses et variées.

M. A. Coque, de Paris, expose un compteur à deux vases, basculant autour d'un axe fixe, et tout à fait analogue à des compteurs fort anciens destinés au jaugeage sans pression. Ce qui constitue la nouveauté du système, c'est l'application à l'eau comprimée. L'appareil tout entier est contenu dans une cloche fermée pleine d'air comprimé. Le renouvellement de cet air se fait au moyen d'un sas, dont le fonctionnement ressemble beaucoup à celui de la bouteille alimentaire, qui sert, dans certains cas, à donner l'eau aux générateurs de vapeur. Gr. VI. — Cl. 54.

Le système de M. Coque pourrait s'appliquer à tous les compteurs d'eau sans pression auxquels nous arrivons actuellement. Ces compteurs étaient en assez grand nombre à l'Exposition ; ils répondent à un problème qui présente moins d'intérêt et de difficulté que celui du jaugeage des liquides sous pression. D'ailleurs les systèmes présentés se rapprochent plus ou moins de dispositifs déjà anciens : ce sont des roues à tympan ou à augets, des flotteurs à mouvement alternatif, des balances oscillantes, etc.

Le jury n'a pas rencontré dans cette partie de l'Exposition d'idées véritablement originales, ni de dispositifs appelant l'attention d'une manière spéciale.

Il en est de même des nombreux appareils ayant pour objet le mesurage de petites quantités de liquide, alcools, essences; des mesures métriques, litres, décalitres; des jauges pour tonneaux, pour bouteilles, etc. Nous ne nous arrêterons donc pas davantage sur ce sujet.

Quelques mots seulement sur les filtres.

Un grand nombre de ces appareils figuraient à l'Exposition; mais la plupart d'entre eux étaient constitués et combinés en vue d'usages tout à fait spéciaux; ils se rapportaient à des genres de travail particuliers, et étaient rangés à côté de l'industrie qu'ils avaient à desservir. Nous n'aurons à nous occuper ici que d'un petit nombre de modèles, dont les dispositions se prêtent à des applications variées, et qui, par suite, ressortissent à la mécanique générale.

Gr. VI. — Cl. 54.

Tous les filtres sont composés de corps poreux, perméables au liquide à filtrer, mais dont le tissu est assez serré pour retenir les matières en suspension dans ce liquide. Il arrive toujours, à la longue, que, par le fait même de la filtration, les canaux capillaires par lesquels se produit l'écoulement finissent par s'obstruer, et le filtre perd toute sa puissance; il faut alors le nettoyer, et cette opération ne laisse pas que d'être souvent embarrassante.

Un grand nombre de dispositifs sont proposés pour obvier à ces difficultés. La *Bowing's patent filter press Company,* de Londres, expose un appareil destiné au filtrage de la bière, des sirops, des huiles, etc. Il se compose d'une série de couronnes plates en bois cerclées en fer, entre lesquelles sont interposés des disques de zinc de même diamètre, percés de trous vers la partie centrale; sur chaque face de chaque disque est appliqué, sans adhérence, un disque en grosse toile, qui constitue l'élément filtrant. Tous ces disques sont fortement comprimés entre deux solides plateaux, serrés par une presse à vis. Le liquide à filtrer est amené, sous pression, dans l'intérieur du cylindre creux ainsi constitué, au moyen d'une pompe à main, et sort épuré par la périphérie du cylindre, après avoir traversé les disques en toile dans le sens du rayon à la circonférence. Quant au nettoyage, il se fait en desserrant les vis et démontant le cylindre; les toiles retirées peuvent être lavées facilement. Quelques artifices de construction rendent le montage et le démontage rapides.

M. A. Le Tellier a imaginé un système de filtres, exposé par la Société anonyme pour l'épuration et le filtrage des eaux et autres liquides (Bruxelles), et qui se rapproche, comme principe, de celui que nous venons de décrire. La masse filtrante se compose d'une série de disques en feutre de laine, qui sont enfilés sur un tuyau creux percé de trous, et pressés par deux plateaux; le filtrage se fait du dehors au dedans; l'ensemble ainsi constitué est un élément de filtre; M. Le Tellier en dispose un grand nombre dans une capacité, dans laquelle arrive l'eau à clarifier; tous ces éléments sont montés verticalement, sur une plaque tubulaire unique,

au moyen d'un joint conique, qui rend le démontage très facile. L'appareil ainsi composé présente à la fois un faible volume extérieur et une grande surface filtrante. M. Le Tellier le combine, suivant les usages auxquels il est destiné, soit avec des filtres à charbon, soit avec des récipients dans lesquels l'eau à purifier est traitée par des réactifs chimiques.

On sait quels effets fâcheux produisent, dans les conduites d'eau, ce que l'on appelle les *coups de bélier*. Si, dans une conduite, l'écoulement vient à être brusquement interrompu, la masse d'eau qu'elle contient ne peut perdre subitement sa vitesse, sans exercer sur les parois des réactions très violentes, qui se traduisent par des ruptures et des dislocations. Ce sont surtout les derniers branchements, ceux qui conduisent les eaux jusqu'aux robinets de puisement, qui sont exposés à ces accidents. Les distributions d'eau prenant chaque jour plus de développement, cette question a pris de l'importance, et l'on s'est préoccupé d'atténuer ces chocs. Les moyens que l'on a imaginés pour cela sont très variés. Souvent on place, près du robinet terminal, un petit réservoir d'air, formant matelas; malheureusement il arrive que l'air se dissout et disparaît, et alors le procédé devient inefficace. D'autres fois, on remplace le robinet ordinaire, dont la fermeture brutale provoque des coups de bélier très intenses, par des robinets à vis, qui ne permettent qu'une obturation lente et progressive. Mais ces robinets à vis ont un autre inconvénient : comme leur manœuvre prend assez de temps, les gens négligents les laissent ouverts, et l'eau coule toute la journée sans aucune utilité.

Lorsque l'on veut éviter le gaspillage de l'eau, le meilleur robinet est celui *à repoussoir*, qui est du reste le plus en usage pour les fontaines publiques : ce robinet s'ouvre sous l'action d'un bouton, sur lequel on presse avec la main; dès que l'on cesse d'appuyer, un ressort ou un poids ramène le robinet à la position de fermeture. Comme il faut exercer et soutenir un certain effort tout le temps qu'on veut faire couler l'eau, le public ne tient le robinet ouvert que le temps réellement nécessaire. Mais l'inconvénient

Gr. VI. — Cl. 54.

de ce système, c'est que l'obturation est très prompte, et par conséquent le coup de bélier très violent.

M. Chameroy, de Paris, est arrivé à concilier ces exigences contradictoires dans un appareil fort ingénieux : l'obturation est produite par une soupape poussée par un ressort, mais le mouvement de cette soupape est modéré par un frein hydraulique.

La coupe ci-après (fig. 59) explique le système, qui est figuré dans la position d'ouverture.

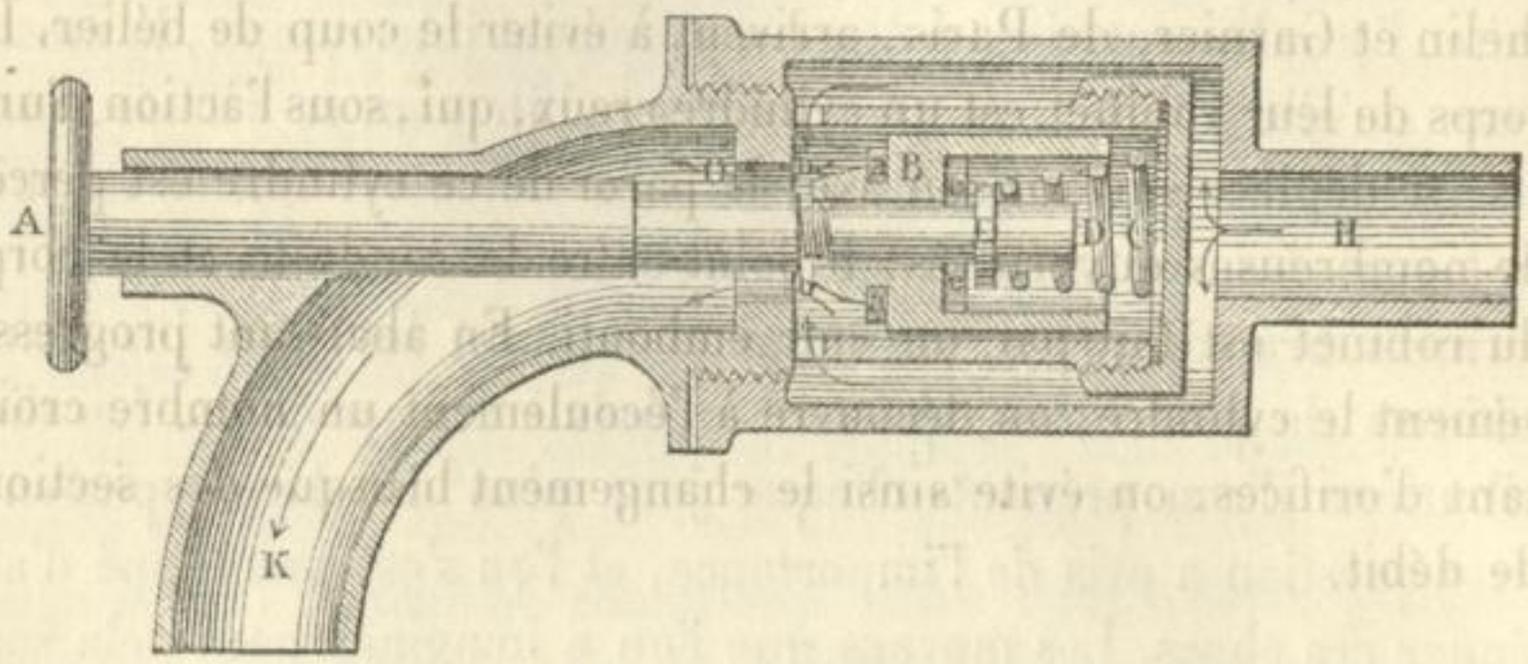


Fig. 59. — Robinet Chameroy.

L'eau arrive par la conduite H et s'échappe par le dégorgeoir K, en passant par l'orifice O autour de la tige du bouton repoussoir A; l'obturation est obtenue par le petit piston B appuyant sur la portée *bb*. Dès qu'on lâche le bouton, le ressort D le ramène en arrière, et, repoussant le piston B, par l'intermédiaire de la rondelle E, ferme l'orifice O. Mais ce mouvement rétrograde ne se fait pas brusquement; car, pour qu'il se produise, il faut que l'espace C en arrière du piston se remplisse, au moyen du liquide qui s'écoule par le faible jeu ménagé autour du piston B.

L'ouverture se fait sans difficulté : dès que l'on presse sur le bouton A, la rondelle E, formant clapet, se soulève, et l'équilibre de pression s'établit entre le dégorgeoir K et la face arrière du piston B, qui se trouve ainsi poussé en arrière par la pression dans la conduite H.

Pour que la fermeture soit étanche, les joints sont faits par des cuirs *aa* et *cc*, serrés entre portées tournées.

Ce robinet fort ingénieux, bien exécuté, fonctionne avec une grande douceur et d'une manière très satisfaisante. Gr. VI. — Cl. 54.

M. E. Schrabetz, de Vienne, expose également un robinet évitant les coups de bélier; ce résultat est obtenu par l'interposition, sur le trajet du liquide, d'une sphère creuse en caoutchouc, reposant sur un siège percé d'un grand nombre de trous; la sphère, en se déformant, découvre progressivement ces orifices.

C'est par un moyen analogue, mais plus simple, que MM. Mathelin et Garnier, de Paris, arrivent à éviter le coup de bélier. Le corps de leur robinet est un cylindre creux, qui, sous l'action d'une vis, se déplace suivant son axe; la paroi de ce cylindre est percée de nombreuses ouvertures; le joint entre la conduite et le corps du robinet est fait par un cuir embouti. En abaissant progressivement le cylindre, on découvre à l'écoulement un nombre croissant d'orifices; on évite ainsi le changement brusque des sections de débit.

CHAPITRE VII.

AIR COMPRIMÉ OU EN MOUVEMENT.

CHAPITRE VII.

AIR COMPRIMÉ OU EN MOUVEMENT.

Sommaire. — Exposé et divisions.

Appareils à air comprimé. — Généralités. — Travaux de Colladon, de Ribourt, de Mékarski. — Machines de Crespin et Marteau, de Paul Giffard, de Raoul Pictet.

Ventilateurs. — Ventilateurs de Geneste et Herscher, de E. Farcot, de Rownson, Drew et Cie, de Gyürky.

Moulins à vent. — Généralités. — Moulins à vent de l'*United States Windmill Company*, de Corcoran, de Lepaute, de Bollée. — Pananémones.

Nous examinerons dans ce chapitre les appareils qui mettent en jeu l'air comprimé ou en mouvement.

L'usage de l'air comprimé a pris, surtout depuis quelques années, une extension considérable. Ainsi il est employé, dans les galeries des mines et le percement des souterrains, pour envoyer à de grandes distances la force motrice nécessaire à la perforation; emmagasiné dans des réservoirs, il sert à la traction sur les tramways et chemins de fer, à la mise en mouvement des paquets de dépêches; par sa détente, il produit le froid, etc. etc. De même l'emploi de l'air animé de grandes vitesses est devenu fort général : la ventilation mécanique est pratiquée sur la plus large échelle, tant dans les mines que dans les édifices publics ou privés.

Mais le cadre que nous avons à parcourir est beaucoup plus étroit : la plupart des applications qui viennent d'être rappelées ressortissent à d'autres classes qu'à celle de la mécanique générale; elles dépendent de l'industrie des mines, de celle des chemins de fer, de la métallurgie, de la fabrication des produits alimentaires, du génie civil, de la télégraphie, etc.

Notre champ d'exploration se trouve ainsi singulièrement restreint, et malgré l'importance considérable du sujet, nous devrons nous borner à quelques généralités, et à l'examen sommaire du

Gr. VI. — Cl. 54.

petit nombre d'appareils qui ne sont pas limités à des applications spéciales.

Nous aurons à étudier deux catégories d'appareils : les appareils à air comprimé et les ventilateurs.

L'air atmosphérique est un ressort d'une perfection presque idéale : grâce à son élasticité à peu près indéfinie, il peut emmagasiner des quantités de travail considérables, et les restituer ensuite, sans pertes notables; sa faible densité, le peu d'importance des résistances qu'il éprouve en parcourant les conduites, même à des vitesses énormes, en font un agent précieux de transmission du travail mécanique.

L'idée de cette application n'est certes pas nouvelle : elle remonte à Denis Papin et date de deux siècles; mais la réalisation pratique s'est longtemps heurtée à des difficultés sérieuses, qui en ont paralysé l'extension. Parmi ces difficultés il y en a deux fort importantes, l'une d'ordre pratique, l'autre de nature théorique, qui n'ont été levées que dans ces dernières années.

En premier lieu, les joints pour tenir l'air sous une pression donnée doivent être beaucoup plus étanches que les joints pour l'eau ou la vapeur; les moindres fissures donnent lieu à des pertes importantes; l'air ne possède pas les propriétés lubrifiantes de la vapeur, et exige un graissage très parfait entre les parties frottantes qui doivent le contenir.

En second lieu, l'air s'échauffe beaucoup par la compression, et il se refroidit par la détente, au point de congeler les organes avec lesquels il est en contact.

Ces variations de température, qui ne sont que la traduction en chaleur du travail mécanique qui s'exerce sur le fluide élastique, atteignent plusieurs centaines de degrés, même entre des limites de pression modérées. Outre les graves inconvénients pratiques qu'elles entraînent, elles occasionnent le plus souvent des pertes importantes d'effet utile, le travail de la compression étant augmenté et le travail de la détente réduit dans une large mesure.

Ces notions n'ont été bien précisées que depuis que les prin-

cipes de la théorie mécanique de la chaleur ont été établis et développés; et les moyens employés pour combattre, soit l'échauffement, soit le refroidissement de l'air, pendant les changements de volume, constituent un des progrès les plus importants réalisés depuis quelques années dans cette branche de la mécanique.

Ces progrès sont dus en grande partie aux travaux de M. Colladon, l'illustre physicien de Genève, dont les recherches sur la transmission du travail par l'air comprimé ont tant contribué au succès des percements gigantesques des tunnels de Fréjus et du Saint-Gothard. L'exposition de l'habile ingénieur comportait des modèles des compresseurs d'air employés au Saint-Gothard, pour activer les perforatrices et autres machines destinées aux travaux du souterrain. On sait que ces compresseurs sont mus par de puissantes turbines, sur lesquelles agissent les chutes des cours d'eau à forte pente, si nombreux dans les pays de montagnes; ils envoient l'air comprimé jusqu'au fond de la galerie d'avancement, au moyen de conduites de plusieurs kilomètres de longueur. La construction de ces appareils est aujourd'hui bien connue, grâce aux intéressantes publications contenant la description de ces entreprises colossales.

Ces compresseurs sont des pompes à air ordinaires à piston. Ce qui en constitue le caractère distinctif, c'est l'emploi sur une large échelle de l'eau, pour refroidir le fluide pendant sa compression, et pour remplir les espaces nuisibles, qui, aux pressions élevées, paralyseraient en grande partie l'effet utile de la machine.

L'eau est employée sous différentes formes.

Dans les compresseurs à marche lente, elle est placée, au-dessus des pistons et des clapets, en couches épaisses, que l'air doit traverser par bulles; dans ceux à marche rapide, l'eau froide circule autour du cylindre et des fonds, et dans l'intérieur du piston et de sa tige; de plus, procédé plus efficace encore, elle est injectée en poussière dans l'intérieur de la masse d'air à rafraîchir.

Ce ne sont pas seulement les compresseurs qui, dans cette exposition, ont attiré l'attention du jury; ces beaux appareils ont été considérés comme résumant l'ensemble des longues et remar-

Gr. VI. — Cl. 54.

quables recherches de M. Colladon. Grâce à ces études, poursuivies avec une persévérance infatigable et avec une fécondité singulière de moyens, les difficultés nombreuses que présentait l'emploi sur une grande échelle de l'air comprimé ont été surmontées une à une, et cet agent puissant est entré largement dans la pratique industrielle. La haute récompense décernée par le jury à M. Colladon n'était qu'un juste hommage rendu au savant vulgarisateur, qui a mis dans les mains des ingénieurs un nouvel et précieux procédé, appelé à rendre à l'industrie des services inappréciables.

Après M. Colladon, il convient de citer deux jeunes ingénieurs, MM. Ribourt et Mékarski, qui, l'un et l'autre, ont consacré leurs travaux à l'extension des usages de l'air comprimé.

M. Ribourt a étudié avec un soin intelligent les organes des appareils, clapets, presse-étoupe, tuyauterie, etc. Il a de plus établi au Saint-Gothard des locomotives fonctionnant à l'air comprimé, et destinées à faire le service de la traction dans la galerie, pendant la période de la construction. Sa part dans la réussite des travaux du souterrain est considérable.

M. Mékarski s'est occupé principalement de la traction des voitures de tramways. Frappé de la nécessité, chaque jour plus évidente, de substituer aux chevaux un moteur mécanique, ainsi que des inconvénients que présente la machine à vapeur parcourant les voies publiques dans les villes, il s'est efforcé de créer un type nouveau de locomotive mue par l'air comprimé. Il a été ainsi conduit à faire une étude approfondie des conditions d'emploi de ce fluide; de cette étude sont sortis un grand nombre d'appareils nouveaux et fort ingénieux; ce ne serait pas ici la place de les examiner tous; mentionnons seulement deux organes susceptibles d'applications nombreuses : la *bouillotte* et le *détendeur*.

La locomotive de M. Mékarski se compose de réservoirs, dans lesquels l'air est emmagasiné sous des pressions de 25 à 30 atmosphères, et d'une machine à air actionnant les roues motrices. L'air comprimé ne saurait être envoyé directement aux cylindres moteurs : sa pression est trop élevée, et sa détente donnerait lieu

à un froid excessif; il doit être préalablement réchauffé, et ramené à une tension plus modérée : tel est le but des organes que nous allons décrire.

La bouillotte est un petit réservoir vertical, contenant, jusqu'aux deux tiers de sa hauteur, de l'eau chauffée à 170 degrés environ; elle est mise en charge de temps à autre par un robinet, qui la fait communiquer avec une chaudière fixe. La bouillotte constitue la provision de chaleur; l'air comprimé pénètre dans le bas, est réparti par une crépine, traverse l'eau chaude sous forme de bulles, et vient se rassembler dans la partie supérieure de la bouillotte.

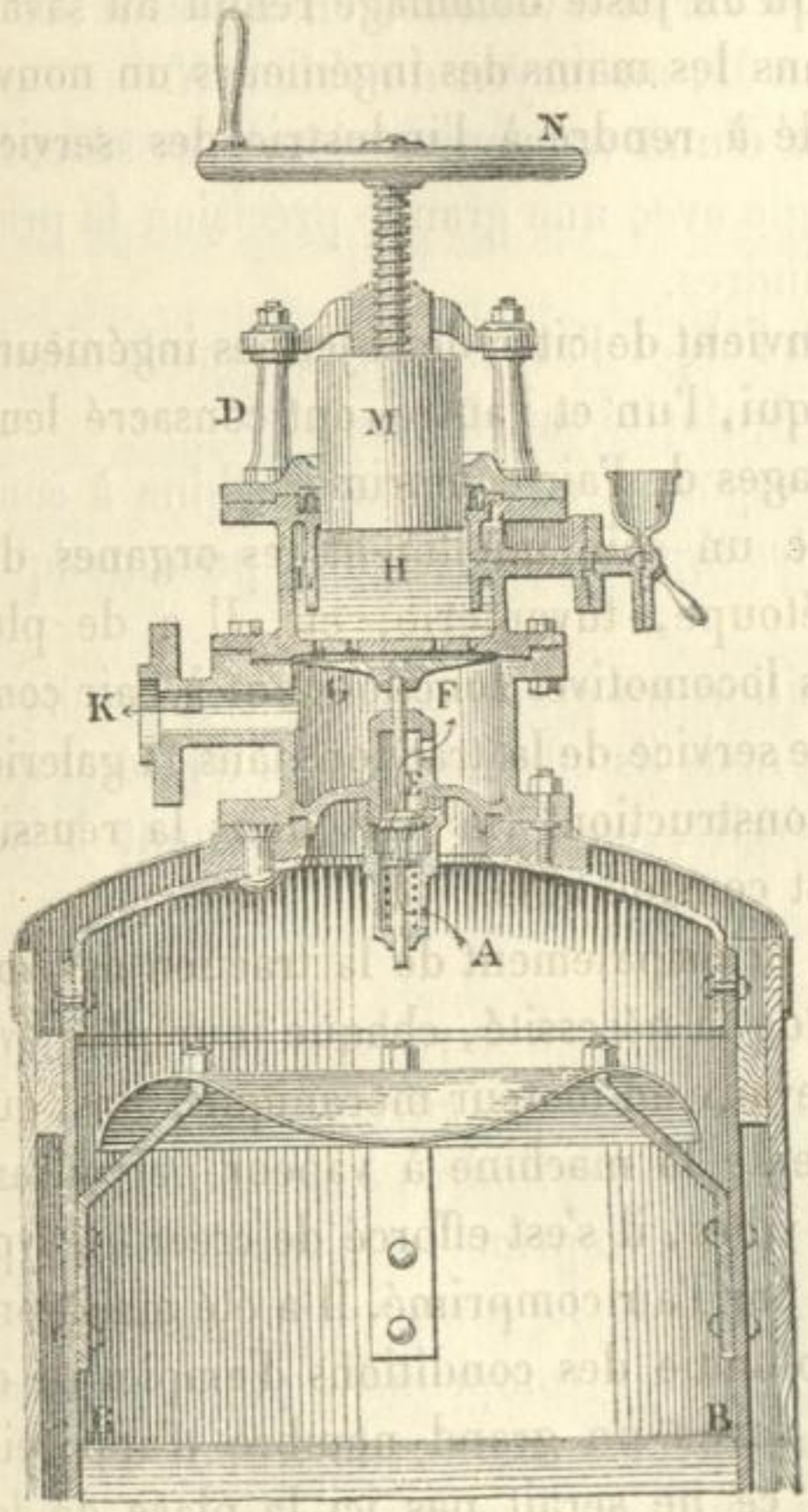


Fig. 60. — Détendeur de M. Mékarski.

L'air, ainsi réchauffé sous pression et saturé de vapeur dans la capacité A (fig. 60) au-dessus du niveau BB de l'eau chaude, est délivré aux cylindres moteurs, en traversant le détendeur D, par la tubulure K. Le détendeur se compose d'un orifice E, étranglé par une petite soupape, dont la levée est réglée par la pression même qui existe en F en aval de l'étranglement; à cet effet, cette soupape est rendue solidaire d'un piston G à très faible course, constitué par une feuille de caoutchouc, pincée sur ses bords et supportée par une plaque de bronze; au-dessus de ce piston, en H, règne une pression hydraulique; les pressions sont toujours sensiblement égales de part et d'autre du piston G; dès que la

pression en F tend à s'élever, le piston se soulève ainsi que la soupape E, l'aire d'écoulement diminue, et la pression en F se trouve ainsi ramenée à sa valeur normale. Quant à la pression hydraulique en H, elle est donnée par l'air comprimé dans le réservoir annulaire L, et est transmise à la face supérieure du piston G par les petits orifices percés dans la plaque de fond du cylindre H; on peut d'ailleurs la faire varier à volonté, en agissant sur le piston de presse hydraulique M, au moyen du volant N.

Cet organe ingénieux est d'une manœuvre simple et sûre. En tournant au volant N, on règle avec une grande précision la pression de l'air envoyé aux cylindres.

Tous ces appareils ont fait l'objet d'expériences à grande échelle et ont fonctionné avec une régularité satisfaisante.

MM. Crespin et Marteau exposent une bonne machine à comprimer l'air, pour le service des lignes de télégraphie pneumatique.

Il y avait encore à l'Exposition un grand nombre d'appareils se rapportant à l'air comprimé; mais ils offraient moins d'intérêt que ceux qui viennent d'être décrits, ou bien ressortissaient à des industries spéciales.

Disons quelques mots de la machine à faire le froid de M. Paul Giffard, qui attirait beaucoup de visiteurs curieux.

Cette machine se compose de deux cylindres à simple effet; l'un puise l'air dans l'atmosphère, le comprime et l'envoie dans un réservoir, où la chaleur résultant de la compression est enlevée par un courant d'eau froide; cet air comprimé agit ensuite sur l'autre cylindre, auquel il restitue une partie du travail absorbé par la compression, en même temps qu'il se refroidit considérablement, par le fait de sa détente; cet air très froid passe enfin dans une chambre, entourée de parois non conductrices de la chaleur, où sont déposés les objets qu'il s'agit de rafraîchir.

Cette machine présente, entre autres, un détail intéressant : la garniture des pistons est formée par une lanière de cuir ou de caoutchouc, que la pression de l'air applique sur les parois du cylindre, et qui donne ainsi un joint bien étanche.

MM. Raoul Pictet et Cie avaient installé dans le parc du Champ de Mars, près de l'École militaire, une usine à glace, dont la production était considérable; le froid était obtenu par l'évaporation de l'acide sulfureux. Cette belle usine présentait des dispositions mécaniques d'un très grand intérêt et des combinaisons ingénieuses, dues en partie à M. Ribourt, ingénieur de la compagnie; mais, par sa destination spéciale, cette usine échappait à la compétence du jury de notre classe, et nous devons, non sans quelque regret, nous borner à cette simple mention.

Si, depuis quelques années, la mécanique des fluides élastiques a fait des progrès importants, tant qu'on se borne à considérer ces fluides à l'état statique, il en est autrement dès qu'il s'agit des gaz en mouvement: tout devient incertitude, obscurité; la théorie se heurte à des difficultés inextricables; les hypothèses, qu'on est bien obligé d'admettre pour simplifier les calculs, ne sont pas toutes bien justifiées; on manque de données certaines; les expériences sont rares, parce qu'elles sont difficiles à faire et fort coûteuses.

C'est précisément un des mérites que le jury a reconnus à la maison Geneste, Herscher et Cie, d'être entrée résolument dans la voie expérimentale, la seule qui, dans l'état actuel de nos connaissances, puisse conduire à quelque progrès. Des expériences installées sur une grande échelle ont permis à ces constructeurs d'étudier quelques-unes des lois qui régissent les mouvements des gaz; ils ont pu ainsi, avec plus de sécurité que leurs devanciers, installer la ventilation et le chauffage des grands édifices. Ces principes ont été appliqués avec succès au palais du Trocadéro.

Dans la galerie des machines, on voyait le nouveau ventilateur-turbine, avec enveloppe divergente, imaginé par les ingénieurs de cette maison, qui ont été amenés à cette forme par une suite de recherches intéressantes.

Quelques autres appareils, bien étudiés et exécutés, attiraient aussi l'attention.

M. E. Farcot, de Saint-Gratien, présente une turbine aspirante et soufflante, qui paraît bien conçue et semble avoir donné de bons résultats.

Gr. VI. — Cl. 54.

La maison Rownson, Drew et Cie, de Londres, expose des ventilateurs de forge bien exécutés.

Le ventilateur de M. Gyürky, de Hongrie, est un véritable appareil de compression, à piston rotatif tournant dans un cylindre excentré; les valves dont il est armé sont appuyées contre les parois de ce cylindre par l'action de la force centrifuge. Nous avons vu des dispositions analogues employées pour machines à vapeur rotatives. M. Gyürky propose également son système pour ce dernier usage.

Arrivons actuellement aux moulins à vent.

Pas plus que les ventilateurs, les moulins à vent ne présentent de progrès bien remarquables. Il semble au contraire que la force motrice empruntée aux courants aériens soit de moins en moins en usage. Les moulins à vent ont rendu pendant longtemps de sérieux services, dans les pays où les chutes d'eau faisaient défaut, et où les moteurs hydrauliques ne pouvaient fonctionner dans de bonnes conditions. Mais aujourd'hui la puissance de la vapeur, si souple, si docile, a remplacé presque partout la puissance capricieuse du vent. Cependant on rencontre encore le moteur à vent en usage dans quelques cas, où le travail mécanique à utiliser n'est pas considérable, et où il peut sans inconvénient être irrégulier et intermittent.

C'est ainsi qu'on l'emploie assez fréquemment pour monter l'eau d'un puits dans un réservoir, dans le but d'alimenter les châteaux ou les fermes isolées, d'arroser des jardins, etc.

Les quantités d'eau consommées ainsi ne sont pas bien grandes, et il suffit que le réservoir d'eau contienne l'approvisionnement de quelques jours, pour parer à une période de calme un peu longue. C'est là aujourd'hui un des usages les plus répandus des moulins à vent. Mais pour qu'elle réponde convenablement à une pareille destination, la machine doit être simple, rustique, peu coûteuse, facile à réparer, facile à manœuvrer; il faut qu'elle s'oriente d'elle-même dans la direction du vent, et qu'elle soit assez sensible pour se mettre en mouvement, même sous l'action de brises légères.

Cette dernière condition entraîne comme conséquence une certaine disproportion entre les dimensions de la pompe et celles du moteur; celui-ci, devant être assez puissant pour entraîner la pompe, même par un vent faible, devient relativement trop puissant par un vent moyen ou fort; alors la vitesse s'accroît beaucoup. Elle pourrait même, si le vent est violent, devenir dangereuse.

On pare à cet inconvénient, soit en soustrayant une partie des ailes à l'action du vent, soit, ce qui est plus simple, en faisant agir un frein, qui entre en jeu dès que la vitesse dépasse certaines limites; le travail ainsi consommé n'est pas en réalité perdu, puisqu'il ne saurait être pratiquement utilisé.

Les moulins à vent les plus ordinaires sont composés d'un axe de rotation horizontal ou légèrement plongeant, portant des ailes implantées perpendiculairement, et dont la surface est oblique par rapport au plan passant par l'axe; le vent, en frappant sur cette surface oblique, détermine la rotation du système autour de l'axe, et ce mouvement est communiqué à l'organe opérateur par des engrenages ou une manivelle.

Un système pareil doit être orienté de telle sorte que l'axe de rotation soit toujours à peu près placé dans la direction du vent; et pour cela, il est nécessaire que l'ensemble de l'appareil puisse tourner autour d'un axe vertical, lorsque le vent vient à changer de direction. Cette opération se fait souvent à la main; pour les moulins de faible dimension, elle est faite automatiquement par un gouvernail, surface plane disposée comme une girouette; mais, pour être efficace, le gouvernail doit être fort grand; d'autres fois, l'orientation est produite par une roue, dite *papillon*, véritable petit moulin à vent, placé perpendiculairement à la roue principale, qui se met en mouvement dès que le vent le frappe sous un angle un peu grand, et cesse d'agir quand il est parallèle à la direction du vent, c'est-à-dire quand la roue principale est bien orientée. Ce système est fort ancien, et il a été appliqué depuis très longtemps par les Hollandais, dans les puissants moteurs à vent qui servaient autrefois à maintenir à sec les vastes plaines des Pays-Bas.

L'Exposition comportait un grand nombre de moulins à vent

Gr. VI. — Cl. 54.

de systèmes assez variés, sans qu'aucun d'eux présentât des dispositions bien neuves. Du reste, la plupart de ces appareils étaient tellement dominés par les constructions et plantations voisines, qu'ils ne se mettaient en mouvement que par des vents assez forts, soufflant dans des directions déterminées; il était donc assez difficile de se rendre compte pratiquement de leur sensibilité ou de leur facilité d'orientation. Citons cependant deux de ces appareils qui ont particulièrement attiré l'attention du jury.

Les deux moulins exposés dans la section américaine par l'*United States Windmill Company*, de Batavia, et par *Corcoran*, de New-York, ont paru bien établis, tant comme simplicité d'organes qu'au point de vue de la bonne et solide construction; ils sont d'ailleurs assez répandus dans les vastes plaines des États-Unis et servent généralement à l'élévation des eaux.

Le petit moulin exposé par M. Henry Lepaute fils, de Paris, est une turbine à axe horizontal, à ailes en bois, d'une grande simplicité et d'un aspect fort élégant.

M. Bollée, du Mans, exposait une turbine en fer, qui semblait bien établie; cette construction a paru coûteuse en comparaison du travail qu'elle pouvait fournir.

Un certain nombre d'inventeurs se sont ingéniés, depuis fort longtemps, pour échapper à la nécessité d'orienter l'appareil à chaque changement dans la direction du vent. Le moyen employé consiste à disposer le moulin horizontalement, l'axe de rotation étant, non plus horizontal, mais vertical; les ailes ne sont plus symétriques par rapport à cet axe : celles qui se trouvent d'un côté sont déployées et exposées à l'action du vent; celles qui se trouvent sur l'autre côté sont au contraire reployées; une aile passant d'un côté à l'autre doit donc être successivement exposée et soustraite à l'action du vent.

Quant aux procédés mis en œuvre pour obtenir ce résultat, ils sont assez nombreux. Quelquefois c'est une transmission par excentrique, ou par manivelle et tringle de manœuvre; il faut alors que la direction du rayon d'excentricité soit modifiée à chaque changement de direction du vent, et la difficulté principale est à peine

esquivée. Dans d'autres systèmes, chaque aile est composée d'un panneau, mobile autour d'un axe vertical excentré par rapport au centre de figure du panneau; la rotation dans un sens est empêchée par un arrêt fixé sur le bras qui porte le panneau; elle est libre dans le sens opposé; il en résulte que le panneau se présente parallèlement au bras, lorsque ce dernier reçoit le vent sur une de ses faces, et qu'au contraire il se masque et ne présente que sa tranche, lorsque le bras, après une demi-révolution, est frappé par le vent sur sa face opposée. Enfin certains constructeurs se contentent de disposer des ailes concaves sur une face, convexes sur l'autre; la rotation du système est déterminée par la différence des pressions exercées par le vent sur ces deux faces de figures différentes.

Ces appareils ont reçu les noms de *panémones, pananémones, pantanémones,* ce qui veut dire qu'ils se prêtent à tous les vents, quelle qu'en soit la direction.

Il est clair que, dans ces machines, l'action du vent ne s'exerce à la fois que sur une assez faible partie de la surface de leurs ailes. Ils présentent donc, à l'égard des moulins à vent proprement dits, la même infériorité que les roues à aube par rapport à l'hélice pour la propulsion des navires, c'est-à-dire que, pour obtenir une même puissance sous l'action d'un même vent, ils doivent avoir une surface totale d'ailes beaucoup plus grande; ils sont donc plus lourds, plus encombrants et plus coûteux.

CHAPITRE VIII.

TRANSMISSION DU TRAVAIL.

SECTION I.

COURROIES. — SYSTÈMES FUNICULAIRES.

Sommaire. — Généralités. — Vitesses usitées. — Glissement des courroies. — Expérience de M. Kretz. — Poulies et organes divers pour transmissions par courroies. — Séries de poulies de Piat, de Simon-Perret. — Manœuvre des courroies, expositions d'Adeline, d'Engel; monte-courroie et porte-courroie. — Matière et confection des courroies. — Coutures. — Collage. — Courroies en cuir de Placide Peltereau, de Fouletier, de Tullis, de Poullain, de Domange-Lemierre, de l'*Underwood Co.* — Courroies en caoutchouc d'Adeline, de Torrilhon-Verdier, de Pavoux, de la Compagnie canadienne. — Courroies en peau de morse de Klem-Hansend. — Courroies en crin de Versé-Spelmans, de Lichtenstein. — Transmissions par câbles. — Transmission à vitesse variable de Bataille et Bloom.

Si les galeries de l'Exposition, et en particulier la galerie des machines, étaient fort riches en transmissions funiculaires, si les courroies s'y présentaient sous toutes les formes et dispositions qu'elles revêtent dans l'industrie, et à tous les degrés de puissance, si quelques-uns des spécimens qui y figuraient étaient remarquables comme dimensions, comme choix des matières et perfection de la mise en œuvre, il faut dire cependant qu'il ne s'y rencontrait guère de systèmes funiculaires qu'on pût considérer comme absolument nouveaux et inédits.

A l'Exposition de 1867, la transmission télédynamique, installée dans le Parc d'après les données de Hirn, et qui envoyait à quelques centaines de mètres la puissance d'une forte locomobile, avait vivement attiré l'attention du public et des spécialistes. Transmettre au loin une force motrice considérable, sans perte sensible, au moyen d'un mince câble en fil de fer, c'était résoudre un problème d'une grande importance pour l'industrie. Aussi

Gr. VI. — Cl. 54.

l'exemple, mis si libéralement par Hirn à la disposition des hommes de l'art, ne manqua-t-il pas de susciter de nombreuses imitations, et les transmissions par câbles métalliques animés d'une grande vitesse sont-elles depuis lors entrées largement dans la pratique.

A l'Exposition de 1878, aucun fait nouveau d'une pareille importance ne s'est révélé; les systèmes présentés sont simplement des applications, souvent fort bien exécutées et dignes d'étude, de principes parfaitement connus et pratiqués depuis longtemps sur la plus large échelle.

Ce n'est pas que la question manque d'intérêt pratique : les transmissions funiculaires, et surtout par courroies, jouent un rôle des plus considérables dans le fonctionnement des ateliers; il n'est pas si mince usine qui ne mette en mouvement des centaines, et souvent des milliers de mètres de courroies. Celles de l'Exposition se comptaient par plusieurs kilomètres de développement; on en voyait de toutes les grandeurs, depuis l'humble corde ronde, actionnant le mécanisme de la machine à coudre, jusqu'à la magnifique courroie qui transmettait à la section anglaise la puissance de 300 chevaux de la machine de Galloway.

De la bonne ou mauvaise installation de la transmission générale d'un atelier dépend, en grande partie, le succès des opérations qui s'y exécutent. Si cette transmission n'est pas bien montée, les courroies glissent, tombent ou se rompent, le travail des outils est irrégulier et coûteux, une fraction considérable de la force motrice se perd en frottements inutiles, les organes s'usent et se détériorent, sans compter les graves accidents dont une transmission défectueuse peut devenir la cause. C'est donc un problème d'une grande importance, que l'établissement d'une bonne transmission; il a été étudié et perfectionné depuis longtemps, et, dans les ateliers bien tenus, il est généralement résolu d'une manière satisfaisante.

Une transmission par courroies se compose de deux arbres, le plus souvent parallèles; sur chacun d'eux est montée une poulie, et une courroie est jetée sur ces deux poulies; l'un des deux arbres reçoit directement le mouvement du moteur, et le transmet

à l'autre par l'intermédiaire de la courroie. Rien ne semble plus simple qu'un pareil organisme; néanmoins cette transmission ne laisse pas que de soulever des questions assez délicates, et dont l'analyse n'est pas toujours sans difficulté.

Le travail transmis est le produit de deux facteurs : la force et le chemin parcouru; si donc l'on suppose que la vitesse tangentielle à la jante des deux poulies soit la même que celle de la courroie, la puissance motrice transmise aura pour mesure le produit de cette vitesse par la différence des tensions des deux brins de la courroie; plus cette vitesse est grande, plus on pourra réduire ces tensions pour transmettre une même puissance. Tel est le principe sur lequel est fondé le fonctionnement des câbles télédynamiques. C'est là aussi une des raisons qui ont amené tous les ateliers à augmenter progressivement la vitesse de leurs transmissions; aujourd'hui, on donne couramment aux courroies destinées à transmettre de grandes puissances des vitesses de 8 à 12 mètres par seconde, et, dans la transmission de la section américaine, cette vitesse était très notablement dépassée.

Quand l'effort exercé devient trop grand, la courroie glisse sur la poulie et cesse de fonctionner. Pour que cet accident ne se produise pas, il est nécessaire que la tension de la courroie ne soit pas trop petite, eu égard au développement des arcs qu'elle embrasse sur les poulies; si l'effort est grand, cette tension doit être considérable; de là des frottements, des pertes de travail, et souvent des coussinets qui grippent et des arbres qui se faussent. C'est en partie pour échapper à ces graves inconvénients qu'on est conduit, pour transmettre des puissances un peu importantes, à imprimer au système de grandes vitesses. D'ailleurs, toutes choses étant équivalentes, une transmission rapide est plus légère, plus économique, plus facile à monter et à entretenir que si la marche était lente. Ces avantages sont bien reconnus aujourd'hui; la vitesse des transmissions n'a cessé de s'accroître. La vitesse de l'arbre général de transmission à l'Exposition de 1867 était de 100 tours par minute; en 1878, elle était de 120 tours dans la section française, et beaucoup plus grande dans la section américaine.

Gr. VI. — Cl. 54.

Il est absolument impossible, avec les courroies ordinaires, d'éviter complètement les glissements; par le fait même de la différence de tension des deux brins, il se produit cet effet, que la poulie menée a toujours une vitesse à la jante plus faible que la poulie menante. M. Hirn, par des mesures précises, a mis ce phénomène hors de doute; mais, depuis longtemps déjà, M. Kretz, ingénieur des tabacs, l'avait signalé et en avait donné l'explication, qui est fort simple : pour que l'adhérence se produise entre la courroie et la jante, il faut nécessairement que, sur une portion au moins de l'arc embrassé, la tension de la courroie augmente progressivement; mais cet accroissement de tension ne peut se produire que si la courroie s'allonge un peu par le fait de son élasticité, et, par conséquent, si chacun de ses éléments se déplace en glissant sur la jante.

Ce glissement nécessaire est d'autant plus important que les deux brins de la courroie sont plus inégalement tendus, et que la courroie elle-même est plus extensible.

M. Kretz a traduit le phénomène, en l'exagérant, dans une expérience faite pour parler aux yeux, et que l'on pouvait voir dans le pavillon de l'Administration des tabacs; la courroie était figurée par une lanière de caoutchouc très souple et fortement tendue sur deux poulies. Ces deux poulies étaient égales; néanmoins, quand la poulie menante faisait deux tours, la poulie conduite n'en faisait qu'un. On avait eu soin de peindre sur le caoutchouc des bandes transversales rouges et noires, qui permettaient de suivre la marche du glissement dans tous ses détails, et donnaient à cette expérience un très vif intérêt.

Les courroies jouent un rôle si considérable dans les ateliers, que le moindre perfectionnement dans leur mode d'emploi prend une importance sérieuse; c'est ainsi que la pratique a conduit à donner à la jante des poulies un léger bombement, qui a pour effet d'empêcher que la courroie ne glisse latéralement et ne tombe, en la ramenant constamment vers la ligne médiane de la jante.

Fréquemment les poulies montées sur l'arbre de couche sont en

deux pièces, pour pouvoir être démontées, déplacées, suivant les exigences de la fabrication, variables d'un jour à l'autre.

Souvent, entre la transmission générale de l'atelier et chacun des outils, est intercalé un arbre intermédiaire, qui reçoit le mouvement par courroies et le transmet de même à la machine-outil; cet arbre porte un couple de poulies, l'une folle, l'autre fixe, ce qui permet d'interrompre la marche de l'outil ou de le remettre en train à volonté; lorsque l'outil doit marcher à des vitesses variables, l'arbre est muni d'un cône, composé de trois ou quatre jantes de diamètres étagés, correspondant à un contre-cône, pareillement construit, mais disposé en sens inverse sur l'arbre moteur de la machine opératrice; en faisant successivement passer la courroie de l'une à l'autre des paires de jantes correspondantes, on imprime à la machine-outil des vitesses variant dans les plus larges proportions.

Il serait hors de propos d'étudier ici en détail les combinaisons, en nombre infini, auxquelles se prête la transmission par courroies : courroies croisées, courroies avec tendeurs, renversement de mouvement par courroies droites et croisées, commande d'une poulie par une autre poulie non parallèle à la première, etc. La plupart de ces combinaisons se retrouvaient dans les galeries de l'Exposition, où l'on pouvait d'ailleurs étudier des transmissions d'une étendue considérable, établies par un grand nombre de constructeurs, et généralement dans d'excellentes conditions de fonctionnement. Les installations de cette nature constituent aujourd'hui un travail tout à fait courant, et nous n'avons pas à nous y arrêter.

Signalons cependant un fait, qui ne manque pas d'importance au point de vue économique : plusieurs maisons fournissent des poulies de transmission établies par séries de types, et fabriquées à l'avance, de manière à pouvoir répondre sans délai à toutes les demandes courantes. Cette organisation de la fabrication, pratiquée sur une large échelle par les maisons américaines, permet de livrer au public des produits très bien faits et à très bas prix, lorsqu'il s'agit d'articles de grande consommation; et tel est au-

Gr. VI. — Cl. 54.

jourd'hui le cas des poulies. C'est une voie dans laquelle nos industriels semblent avoir tout intérêt à s'engager.

La maison Piat (A.), de Paris, présentait une collection très complète de poulies, fort bien étudiées comme dessin et comme choix des matériaux, et d'une exécution excellente. On remarquait, dans le même ordre d'idées, l'exposition de la maison Simon-Perret frères, de Lyon.

La manipulation des courroies dans les ateliers est une des causes les plus fréquentes d'accidents horribles. Monter ou démonter une courroie, la faire passer d'une poulie à une autre, ce sont des opérations qui s'exécutent si souvent que les ouvriers finissent par perdre le sentiment du danger qu'elles entraînent, et par oublier les précautions fort simples qui les rendent inoffensives. Ils passent, sans y regarder, à côté des courroies en mouvement, appuient des échelles sur les arbres tournants, circulent au milieu d'organes animés de grandes vitesses, jettent à la main les courroies sur les poulies, et finissent par se laisser saisir par un membre ou par leur vêtements. Chaque année on a à déplorer un certain nombre de catastrophes épouvantables, provenant, soit de l'incurie des ouvriers, soit de l'installation défectueuse des transmissions.

Dans les ateliers soigneusement montés, les manœuvres des courroies se font mécaniquement et sans danger pour les ouvriers. Pour faire passer une courroie d'une poulie fixe sur une poulie folle, ou réciproquement, on fait usage d'une fourche, qui embrasse librement la courroie, et qui est fixée sur une tringle, parallèle à l'arbre de transmission et voyageant entre deux guides; cette tringle est mue par des poignées à la main de l'ouvrier.

M. Adeline, de Paris, fabrique des galets en porcelaine pour garnir les deux branches de ces fourches. Ces galets adoucissent les frottements et sont d'un bon usage.

Une des expositions qui attiraient le plus vivement l'attention était celle de M. Frédéric Engel, rue Saint-Fiacre, 9, à Paris, qui présentait un grand nombre de modèles d'appareils, destinés à prévenir les accidents de machines. Nous aurons à revenir sur

cette exposition remarquable. Elle résumait de longues recherches, poursuivies avec une admirable ténacité par une société d'industriels animés du sentiment le plus pur et le plus élevé de la confraternité humaine. Cette exposition comprenait un grand nombre de dispositions ingénieuses, dues à divers inventeurs. Nous décrirons simplement deux organes fort simples, destinés à prévenir les dangers qu'entraîne le maniement des courroies.

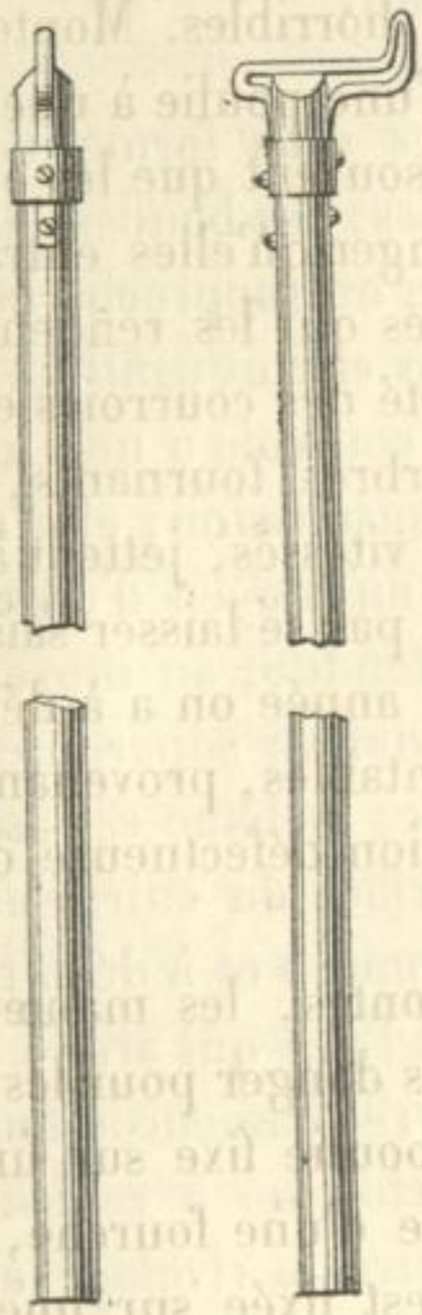


Fig. 61.
Béquille pour monter les courroies.

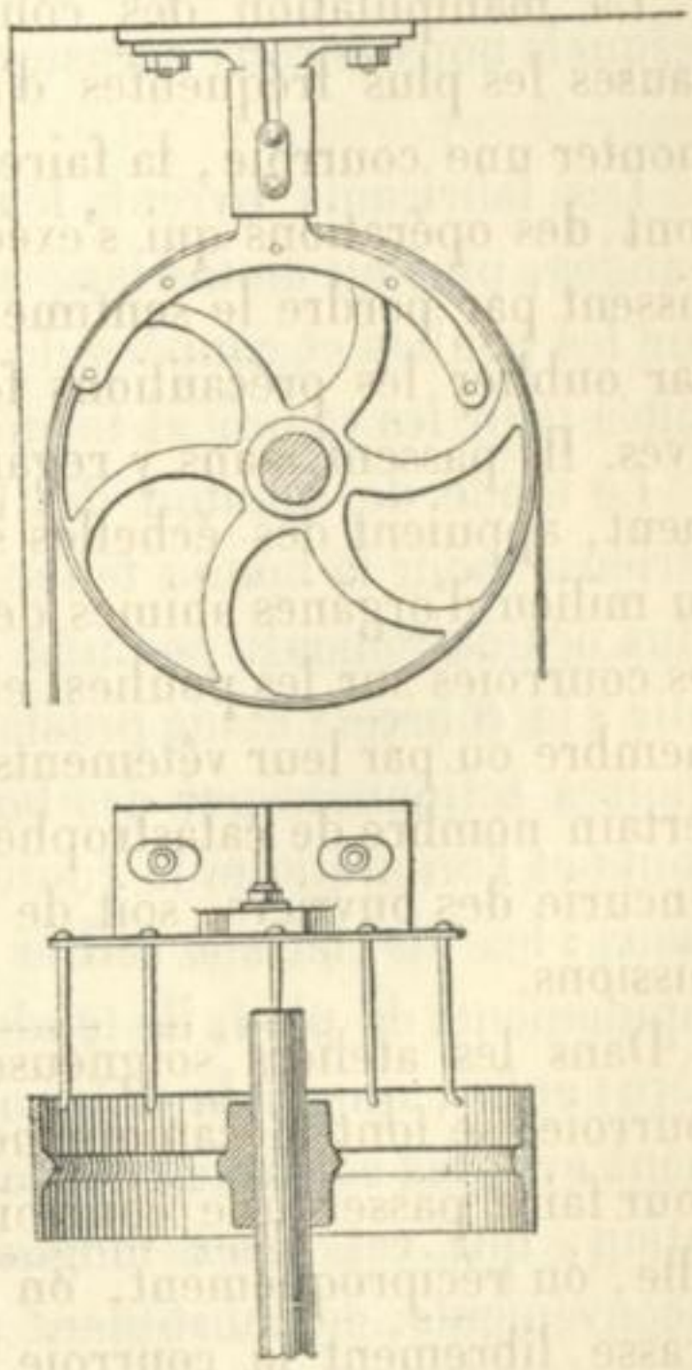


Fig. 62.
Monte-courroie Biedermann.

La figure 61 ci-jointe représente la béquille à crochet qui sert à manœuvrer les courroies. Pour monter une courroie, on la pose sur le crochet en fer qui termine cette béquille, et on l'apporte ainsi au contact de la poulie en mouvement; dès que la courroie commence à mordre sur la poulie, elle achève d'elle-même de s'enrouler.

Voici (fig. 62) le porte-courroie *Biedermann*, appareil fort simple et peu coûteux; il est composé d'une lanterne en broches de fer,

Gr. VI. — Cl. 54.

sur lesquelles on pose la courroie quand on l'a descendue de sa poulie; on évite ainsi que la courroie soit en contact avec l'arbre tournant, ce qui est dangereux à cause des enroulements qui se produisent souvent. Une béquille, analogue à celle que nous venons de décrire, permet de faire toutes les manœuvres sans aucun danger et avec une extrême facilité.

D'autres dispositifs intéressants de monte-courroie et de porte-courroie sont exposés par M. Engel, ainsi que divers appareils sur lesquels nous aurons occasion de revenir.

Les fabricants livrent les courroies sous forme de longues bandes, plus ou moins larges et épaisses; ces bandes étant jetées sur les poulies et coupées de longueur, on rapproche leurs extrémités pour les réunir et former ainsi un circuit continu.

Le mode de réunion des bouts de courroie a une importance sérieuse pour la bonne tenue d'une transmission; elle se fait, le plus ordinairement, par une couture, au moyen d'un cordon de cuir : la courroie étant préalablement tendue, au moyen de mâchoires actionnées par des boulons à vis, on superpose les deux bouts et l'on pratique la couture. Mais ce système est assez défectueux : les fils, faisant saillie sur la surface du cuir, s'usent assez rapidement; de plus, ils tendent à se rompre et à déchirer la matière; enfin, quand la courroie se détend, ce qui arrive promptement avec les courroies neuves, il faut recommencer toute l'opération, qui est assez longue. On a cherché à remédier à ces inconvénients, en substituant à la couture le rivetage au moyen de petits clous; ou bien on rattache les bouts par des agrafes de forme spéciale, ou on les serre entre de petits boulons filetés à tête plate, etc.

Depuis quelques années on emploie avec succès le collage des bouts à réunir; les deux bouts étant taillés en bec de flûte, on les superpose sur une large surface, en intercalant un ciment élastique; on obtient ainsi une surface parfaitement lisse et continue, et la force de la courroie est la même dans toutes ses parties. Ce système ne laisserait rien à désirer s'il permettait de raccourcir facilement la courroie quand elle commence à se détendre.

La couture et le collage sont également usités lorsqu'on compose les courroies de deux épaisseurs de cuir, afin de leur donner plus de résistance.

Quant à la matière même qui compose les courroies, c'est presque toujours le cuir; suivant la force et l'origine des bestiaux qui l'ont fourni, suivant la manière dont la matière a été découpée, traitée et travaillée, la courroie est plus ou moins solide et durable. Il est bien difficile, à la simple inspection d'une courroie, de juger complètement de ses qualités; il n'y a guère que l'usage qui puisse renseigner exactement à cet égard, et, dans ses appréciations sur les nombreuses courroies qui lui ont été présentées, le jury a dû tenir largement compte des renseignements qu'il a puisés en dehors de l'Exposition, et des certificats qui lui ont été produits.

La maison Placide Peltereau, de Château-Renault (Indre-et-Loire), avait une belle exposition de courroies cousues; MM. Fouletier frères, de Saint-Chamond, exposaient des courroies doubles, collées par compression, et d'une grande beauté. La grande et magnifique courroie cousue, de $0^{m},92$ de largeur, montée sur le volant-poulie de la machine de Galloway, sortait de la fabrique de MM. John Tullis et ses fils, de Glascow. Citons encore les remarquables produits de MM. Poullain frères et Domange-Lemierre, de Paris, puis la belle courroie de l'*Underwood belting Company,* de Tolland (Connecticut), qui mettait en mouvement la section américaine. La Suède, l'Autriche, la Belgique, l'Italie, avaient également de fort beaux échantillons de courroies.

Depuis quelques années, le caoutchouc est entré largement dans la pratique pour la confection des courroies, et l'on voyait à l'Exposition plusieurs spécimens remarquables de cette application. Dans la composition de la courroie, les fabricants font entrer, non seulement le caoutchouc, mais encore un tissu de chanvre, de coton ou de fils métalliques; on obtient ainsi des lanières de toute longueur, très souples, très résistantes, peu

Gr. VI. — Cl. 54.

extensibles et d'une durée fort longue. Les maisons Adeline (E.), de Paris, Torrilhon-Verdier et Cie, de Clermont-Ferrand, Pavoux et Cie, de Molenbeck-Saint-Jean, près Bruxelles, exposaient des courroies en caoutchouc d'une exécution remarquable; on en voyait d'autres présentées par la *Compagnie canadienne de caoutchouc*, de Montréal.

MM. Klem-Hansen et Cie, de Trondhjem (Norwège), exposaient de magnifiques courroies en peaux de morse, de 15 millimètres d'épaisseur, souples, résistantes et du plus bel aspect; on dit que les courroies de ce genre sont largement employées en Russie et en Norwège, et y rendent d'excellents services.

La maison Versé-Spelmans, Brichot (Ant.) et Cie, de Belgique, avait exposé de fort beaux spécimens de courroies d'une fabrication nouvelle et originale; ces courroies sont en tissu de crin et de coton, enduit d'une pâte spéciale; l'une de ces courroies, montée sur la machine à vapeur de M. Walschaërts, donnait le mouvement à la section belge; elle était d'un fort bel aspect. Le fabricant réclame pour ces sortes de courroies les avantages suivants: elles peuvent se fabriquer de toute longueur; elles sont souples, peu extensibles, de longue durée et inattaquables à la vapeur, à l'eau et aux acides. Les certificats qu'il a produits au jury sont excellents.

Un autre fabricant, M. Lichtenstein, de Paris, exposait également de belles courroies en tissu de crin.

D'autres exposants présentaient des courroies en chanvre goudronné, et même en bourre de cheveux. On voyait aussi de beaux assortiments de cordes rondes en cuir et en boyaux.

En fait de transmissions funiculaires, l'une des nouveautés les plus remarquées de l'Exposition, c'était l'usage des câbles de coton et de chanvre pour remplacer les courroies. Sur la jante cannelée du volant de la machine motrice, s'enroulent plusieurs cordes parallèles, qui vont actionner la jante, également cannelée, de la poulie maîtresse montée sur l'arbre de commande. La transmission ainsi obtenue est d'une douceur remarquable; comme les

cordes peuvent être très fortes, il devient possible, avec ce système, de faire les jantes beaucoup moins larges qu'avec les courroies de cuir. S'il s'agit de transmettre de grands efforts, on donne aux cannelures une section triangulaire; la corde se coince entre les joues inclinées, ce qui augmente beaucoup son adhérence. La transmission par câbles est plus économique, plus souple que celle par courroies; elle se prête à des combinaisons plus variées, et permet d'envoyer le travail à des distances bien plus grandes; elle présente donc des avantages importants. Ils sont compensés par un inconvénient qui, dans certains cas, peut devenir capital : c'est l'hygrométrie des cordes, qui se tendent ou se relâchent, suivant que l'air est plus ou moins humide.

Quoi qu'il en soit, ce système était représenté à plusieurs exemplaires dans les galeries de l'Exposition, et depuis quelques années il est entré dans la pratique courante des usines, et a été appliqué parfois à des transmissions d'une grande puissance.

Terminons ce qui concerne ce sujet par la description d'un appareil curieux de transmission à vitesse variable. Le problème en question ne manque pas d'intérêt, et a fait l'objet de nombreuses recherches. MM. Bataille et Bloom, de Lille, en proposent une solution originale (fig. 63) :

L'arbre A reçoit, par l'intermédiaire d'une courroie, une vitesse de rotation uniforme; il s'agit d'imprimer à l'arbre B une vitesse de rotation variable à volonté.

A cet effet, les deux arbres sont munis d'un cône fixe C et D et d'un cône mobile E, F; ces derniers peuvent coulisser le long de l'arbre qui les porte, entraînés par les fourchettes GH; celles-ci sont portées par la tringle à crémaillère KK, qui se déplace sous l'action de la vis sans fin L, solidaire de la manivelle M. Les deux cônes portés par un même arbre sont évidés sur une partie de leur surface, les pleins de l'un correspondant aux vides de l'autre, de telle sorte qu'ils puissent pénétrer plus ou moins l'un dans l'autre; ils constituent ainsi une gorge conique à diamètre variable, sur laquelle s'enroule la courroie ronde de transmission NN. Le jeu de l'appareil se comprend immédiatement: pour im-

Gr. VI. — Cl. 54.

primer à l'arbre B une grande vitesse, il suffit, au moyen de la manivelle M, de reporter vers la gauche le système des deux cônes EF (fig. 63 I); on augmente ainsi le diamètre d'enroulement de la gorge supérieure, en diminuant celui de la gorge inférieure. L'opération inverse (fig. 63 II) amène le résultat opposé. Les diamètres des deux gorges étant complémentaires, la tension de la courroie reste sensiblement constante.

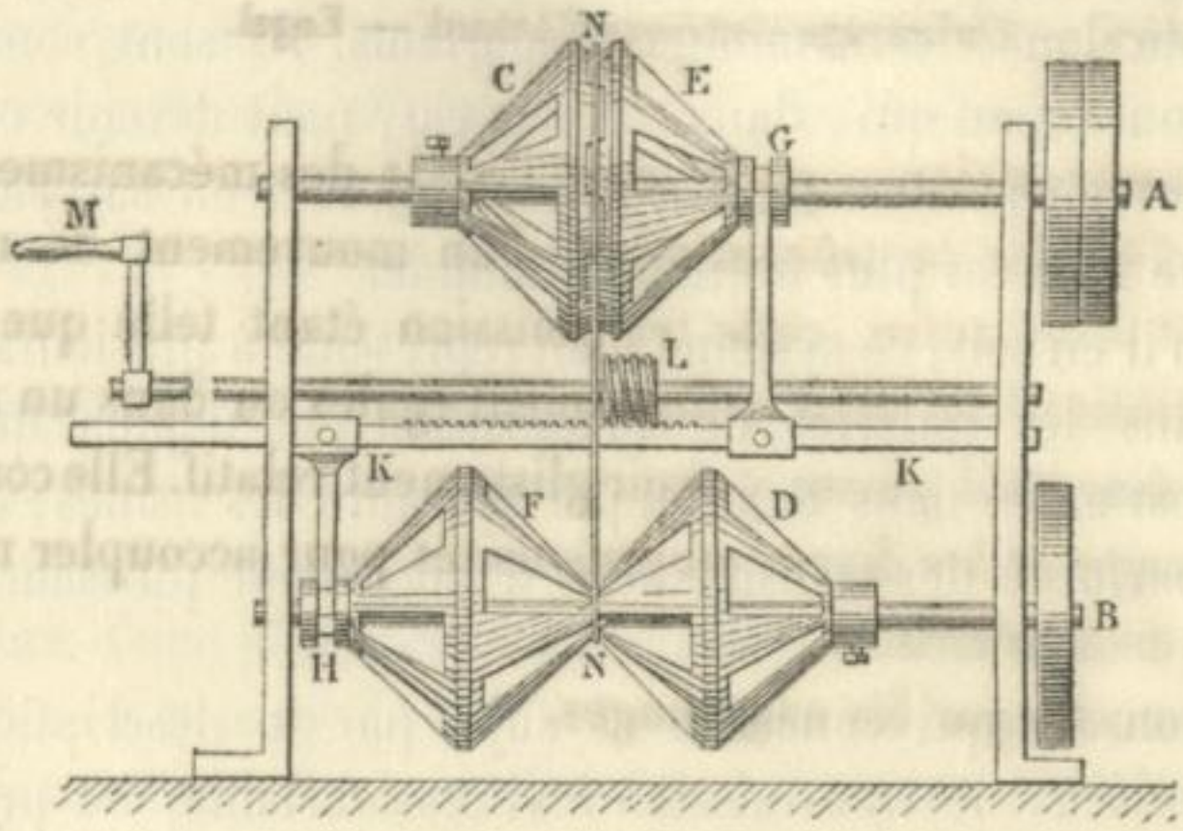


Fig. 63 I.

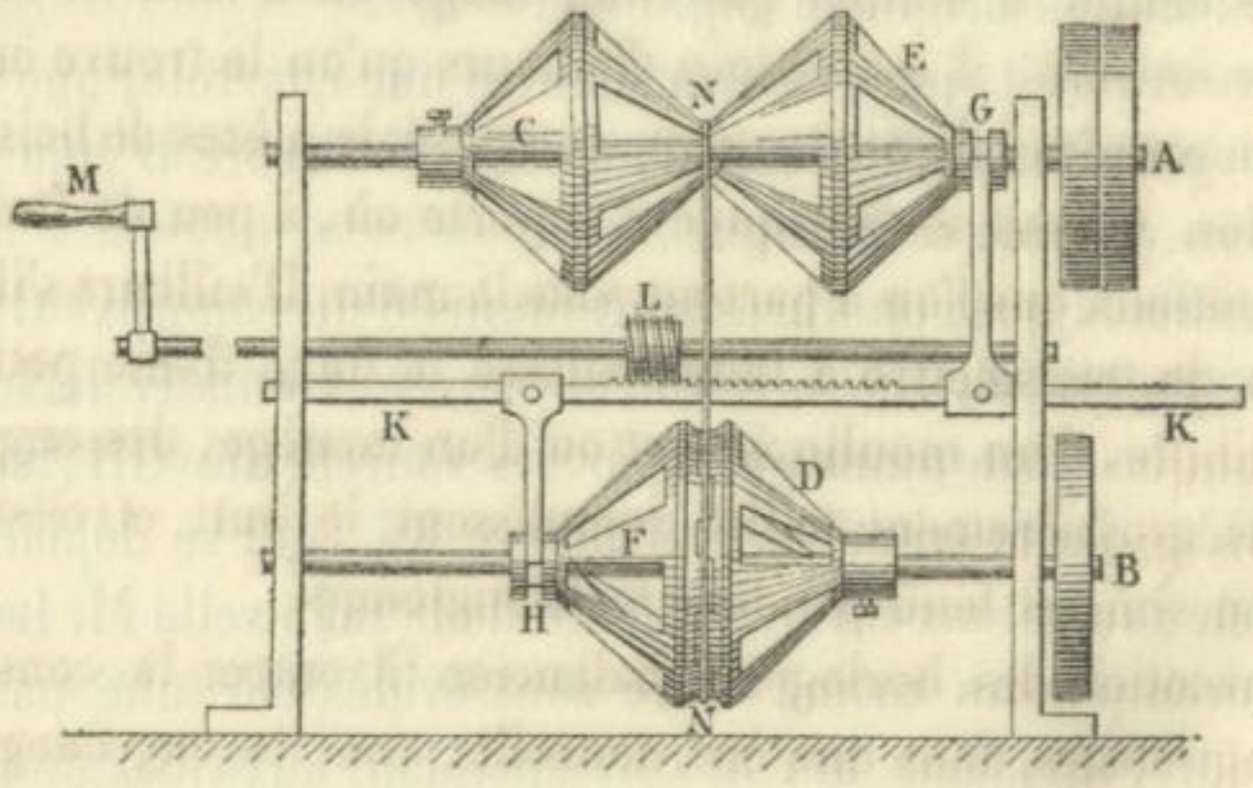


Fig. 63 II.

Il va de soi que cet appareil n'est applicable qu'à la transmission de très petites forces.

SECTION II.

ENGRENAGES, EMBRAYAGES, DÉCLICS.

SOMMAIRE. — *Engrenages.* — Généralités. — Piat.
Embrayages et déclics. — Généralités. — Boudier. — Bourdin. — Bourgougnon. — Mégy. — Embrayage électrique d'Achard. — Engel.

La présente section a pour objet l'étude des mécanismes ayant pour but d'établir la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre à un autre, cette transmission étant telle que les vitesses angulaires des deux arbres soient égales ou dans un rapport constant, sans qu'il puisse y avoir glissement relatif. Elle comprend les engrenages et les divers moyens usités pour accoupler momentanément deux arbres.

Commençons par les engrenages.

L'idée de transmettre la puissance motrice au moyen de roues dentées est extrêmement ancienne, et son origine se perd dans la nuit des temps. Il semble que l'engrenage dit *à lanterne* ait été le premier inventé : il est certain d'ailleurs qu'on le trouve en usage chez des peuples à demi sauvages : composé de pièces de bois rondes ou plates, il peut se fabriquer n'importe où, à peu de frais, avec des matériaux que l'on a partout sous la main. D'ailleurs s'il ne s'agit que de transmettre à faible vitesse la force d'une petite roue hydraulique, d'un moulin à vent ou d'un manège, des engrenages en bois grossièrement taillés remplissent le but, et c'est à cela que l'on s'en est tenu pendant fort longtemps.

L'invention des horloges à balancier fit entrer la construction des engrenages dans une ère nouvelle; avec les engrenages grossiers construits jusqu'alors, les rapports de vitesse des roues se commandant réciproquement étaient fort irréguliers; l'application des roues dentées à l'horlogerie nécessitait une précision beaucoup plus grande; pour l'obtenir, on s'adressa tout d'abord à l'habileté

Gr. VI. — Cl. 54.

manuelle des ouvriers. Mais la géométrie, qui venait de faire de si grands progrès, s'empara à son tour de la question; les mathématiciens les plus illustres s'attachèrent à établir la théorie des engrenages, et à définir les tracés les plus propres à assurer la proportionnalité exacte entre les vitesses des divers organes.

Toutefois ce ne fut pas du premier coup que ces tracés furent appliqués dans la construction des gros engrenages; tant que les roues dentées furent construites en bois et n'eurent à transmettre que des efforts modérés, une pareille précision n'était nullement nécessaire. Mais du jour où le métal commença à entrer d'une manière courante dans la construction des machines, il en fut tout autrement. Les matières mises en œuvre étant plus dures, plus résistantes, il devenait indispensable que les organes dans la composition desquels elles entraient fussent exécutés avec une correction de formes de plus en plus parfaite. Les variations brusques de vitesse, tolérables tant qu'on n'avait affaire qu'à des pièces de bois plus ou moins flexibles, auraient amené promptement la détérioration des pièces en fer ou en acier, rigides et dures au choc. La nécessité de donner à la plupart des organes solides des formes rigoureusement étudiées et dessinées porta peu à peu la construction des machines à l'état de perfection que nous trouvons aujourd'hui.

Au point de vue de la cinématique, la transmission par engrenages possède cette propriété, que les rapports de vitesse entre les diverses roues d'un même équipage sont parfaitement invariables. Quand l'une des roues tourne d'un certain angle, chacune des autres roues tourne d'un angle déterminé, résultant du nombre de dents dont sont armées les circonférences de ces roues. De plus, on construit des trains d'engrenages assez résistants pour transmettre les efforts les plus considérables.

Toutefois, malgré la précision extrême avec laquelle on sait aujourd'hui établir ces organismes, il n'en est pas moins vrai que, sur quelques points, ils laissent encore à désirer. Cette précision ne résiste pas à un travail prolongé, l'usure détermine à la longue un jeu inévitable; et, surtout aux vitesses un peu grandes, les engrenages ne tardent pas à produire dans leur marche du bruit et

des chocs, traduisant à l'oreille des pertes de puissance, et pouvant amener des dislocations et des ruptures.

Tels sont les motifs qui font, dans un grand nombre de cas, préférer les transmissions funiculaires, malgré les glissements auxquels elles donnent toujours lieu. Aussi, chaque fois que les forces à transmettre ne sont pas trop grandes, que les rapports de vitesse entre les organes accouplés n'ont pas besoin d'une rigueur absolue, c'est à la transmission par courroies que l'on a recours. Moins précise dans ses effets, elle présente les avantages d'une plus grande douceur de mouvement, et en définitive d'une moindre déperdition de force motrice.

Nous ne saurions entrer dans la description des variétés, en nombre infini, que présentaient les engrenages de l'Exposition : engrenages droits, engrenages d'angle, crémaillères, vis sans fin, engrenages hélicoïdaux, etc. etc. Toutes ces combinaisons cinématiques sont trop connues pour que nous ayons à nous y arrêter. Mais l'examen des engrenages exposés dénote un fait industriel d'une importance véritable, auquel il convient de prêter une attention sérieuse.

Nous avons vu qu'on est parvenu à donner à la construction des engrenages mécaniques toute l'exactitude désirable. Il restait encore un pas à faire, c'était de vulgariser cette précision, de mettre à la portée du public des engrenages bien exécutés, et en même temps à bas prix. Ce problème a été résolu par plusieurs maisons, et la solution est celle qui a été déjà indiquée à plusieurs reprises : l'organisation rationnelle d'une fabrication par séries de modèles établie sur une grande échelle.

M. A. Piat, de Paris, exposait de nombreux exemplaires des roues dentées, qu'il fabrique et tient en magasin, prêtes à livrer au commerce, du moins pour les modèles courants. Cette maison fournit des engrenages pour les usages les plus variés; elle a établi des modèles pour toutes les puissances, depuis la grande et solide roue dentée de $3^{m},70$ de diamètre, pouvant transmettre des efforts considérables, jusqu'aux pignons délicats de 10 à 12 milli-

Gr. VI. — Cl. 54.

mètres de diamètre. Elle livre des roues droites et des roues d'angle, à dents de fonte ou de bois, des trains à vitesse variable, des crémaillères, engrenages intérieurs, etc. Grâce au débit considérable des articles qu'elle fabrique, et suivant en cela la méthode de travail pratiquée avec tant de succès en Amérique, la maison Piat a pu établir des machines d'une grande précision, pour le moulage et la taille des pièces qui se reproduisent d'une manière courante, et diminuer ainsi dans une large mesure le prix de revient de la fabrication.

Parmi les produits exposés par la maison Piat, il convient de signaler certains engrenages, spécialement disposés en vue de réduire les chocs plus ou moins intenses, qui sont presque inévitables entre les dents, à l'instant où elles viennent en prise.

On connaît la remarquable solution qui a été imaginée par le mécanicien White pour ce problème de cinématique; au lieu de donner aux dents d'engrenages la forme de cylindres ou de prismes, parallèles à l'axe de rotation de la roue sur laquelle elles sont montées, il enroule ces dents obliquement sur la jante, en forme d'hélicoïdes; il résulte de cette disposition que le contact entre les deux dents qui viennent en prise ne s'établit pas brusquement, comme dans les roues ordinaires, sur toute la largeur à la fois des roues; les deux dents commencent par se toucher sur une des faces seulement de l'équipage; puis, au fur et à mesure que le mouvement se produit, le contact se déplace progressivement, en se rapprochant de l'autre face, jusqu'à ce qu'enfin les deux dents cessent de se toucher. Les engrenages de White, lorsqu'ils sont bien exécutés, donnent à la transmission une douceur exceptionnelle, même à de grandes vitesses. Mais, surtout pour la transmission d'efforts un peu considérables, ils présentent un inconvénient sérieux: les dents, étant biaises sur la jante de la roue, s'attaquent par des surfaces obliques; leurs réactions réciproques engendrent des composantes parallèles aux axes de rotation, lesquelles déterminent à leur tour des efforts anormaux sur les tourillons, se traduisant par des frottements et des grippements.

Si l'on suppose deux trains de White symétriques, c'est-à-dire

égaux comme dimensions, mais armés de dents dont les obliquités soient inverses, et qu'on les rende solidaires, de telle sorte qu'ils ne forment plus qu'une paire de roues, on aura le dispositif construit par M. Piat sous le nom de *roues à chevrons*. Ce dispositif réalise tous les avantages de l'engrenage simple de White, en même temps que les composantes parallèles aux axes s'annulent deux à deux. Mais l'exécution de pareils organes, avec les moyens ordinaires des ateliers, serait très délicate et coûteuse. M. Piat a installé, dans son usine, un outillage fort habilement étudié, qui lui permet de tailler les roues à chevrons avec une perfection remarquable, et de les livrer à des prix relativement modérés.

La même maison expose des roues d'un autre système, dérivé également de l'engrenage de White; chaque dent est constituée, non par une surface hélicoïdale continue, mais par une sorte d'escalier inscrit dans cette surface, et dont les éléments sont alternativement parallèles et normaux à l'axe de rotation; que l'on imagine une roue dentée ordinaire, découpée en tranches minces par des plans perpendiculaires à l'axe, et que l'on déplace successivement d'angles croissants ces différentes tranches, on aura la représentation de la roue dite *à denture croisée*. Le même système peut s'appliquer aux roues d'angle. Moins parfait théoriquement que l'engrenage à chevrons, il donne néanmoins des mouvements très doux, et supprime les réactions obliques sur les tourillons.

Les produits exposés par la maison Piat portent l'empreinte d'une longue et persévérante étude, non seulement des problèmes à résoudre, mais encore des moyens à mettre en œuvre pour en réaliser des solutions satisfaisantes et économiques. L'exécution, aussi bien comme travail que comme choix des matériaux, ne laisse rien à désirer. Le jury a surtout vivement apprécié l'organisation qui a permis à cette maison de livrer à bon marché des produits excellents; il a cru devoir traduire la satisfaction qu'il a éprouvée, en décernant à l'exposant une des plus hautes récompenses dont il disposait.

Les *embrayages* ou *encliquetages* sont des organismes fort usités dans les ateliers; ils ont pour objet de soustraire momentanément

Gr. VI. — Cl. 54.

à l'action du moteur les outils dont le travail n'est pas continu, et de les remettre en prise au moment voulu.

Les embrayages ordinaires ont pour effet d'établir ou de rompre à volonté la solidarité entre un arbre moteur et l'arbre commandé. Ils peuvent se diviser en deux grandes catégories, suivant que leur action a lieu en arrêtant ou sans arrêter la marche de l'arbre moteur.

Les embrayages au *repos* sont d'un usage très commun; mais ils n'offrent aucune difficulté particulière d'établissement; et tout dispositif permettant de rendre solidaires les mouvements des deux arbres conjugués peut en tenir lieu. Nous n'avons donc pas à nous y arrêter.

Il en est autrement des embrayages en *marche*. Emprunter, au moment du besoin, à un arbre tournant la force motrice nécessaire pour actionner une machine-outil, sans modifier la vitesse de cet arbre, supprimer la transmission dès que l'outil doit cesser de travailler, c'est là un problème d'une grande importance; il se pose à chaque instant, notamment dans les ateliers comportant un grand nombre d'outils, mis en mouvement par un moteur unique. Il y a un intérêt fort sérieux à ne pas faire marcher à vide une partie des outils; à part l'économie de la force motrice, inutilement consommée à user les organes sur eux-mêmes, de nombreuses opérations préparatoires ne peuvent se faire que sur les machines-outils au repos; c'est même souvent une question de sécurité, que de pouvoir arrêter une de ces machines, sans être obligé de suspendre la marche de tout l'atelier.

Lorsqu'il s'agit d'organes légers et animés de mouvements lents, l'embrayage peut se faire par des moyens nombreux, dont les rochets d'horlogerie offrent l'exemple.

Il n'en est plus de même lorsqu'on a affaire à des vitesses et à des masses un peu grandes; si l'on essayait de faire passer brusquement les organes de l'état de repos à leur vitesse normale, on provoquerait, par l'effet de leur inertie, des réactions extrêmement violentes, qui amèneraient infailliblement des dislocations. Il est

donc indispensable que la vitesse de l'organe embrayé ne s'accroisse que progressivement, qu'elle n'atteigne sa valeur normale qu'au bout d'un certain temps, sans que, dans l'intervalle, il se développe, entre les pièces en contact, des pressions dépassant la limite de sécurité.

C'est le plus souvent au frottement que l'on a recours pour obtenir ce résultat. Les embrayages par friction agissent en vertu des mêmes principes que les freins ordinaires. Lors de la mise en marche, une pièce quelconque, disque, cône, etc., actionnée par l'arbre moteur, est pressée contre une pièce fixée à l'arbre commandé, et qui en est la contre-partie; la pression est calculée de telle sorte qu'elle suffise pour déterminer l'entraînement par adhérence dans le cas du travail normal; au moment de la mise en train, les deux pièces en contact glissent l'une sur l'autre, la pièce commandée prenant une vitesse graduellement croissante, jusqu'au moment où cette vitesse a atteint celle de la pièce qui l'entraîne.

Un des exemples les plus usuels de l'embrayage par friction, c'est la commande par courroies et par poulies folle et fixe, dont nous avons déjà eu l'occasion de parler. Il offre l'inconvénient, inacceptable dans certains cas, de ne pas assurer une concordance parfaite entre les mouvements des deux arbres conjugués, à cause des glissements inévitables qui se produisent avec ce système de commande; de plus, il ne se prête pas à la transmission d'efforts très considérables.

A côté de nombreux systèmes d'embrayages depuis longtemps connus, l'Exposition contenait quelques mécanismes d'un véritable intérêt.

MM. Boudier frères, de Rouen, avaient exposé deux belles machines à vapeur, l'une verticale, l'autre horizontale, se faisant face l'une à l'autre dans la grande galerie; chacune de ces machines attaquait, au moyen de courroies, l'un des deux arbres parallèles de transmission qui actionnaient la classe 55. Ces deux arbres étaient eux-mêmes reliés par poulies et courroies, de telle sorte qu'on pût utiliser, soit simultanément, soit successivement, l'un

Gr. VI. — Cl. 54.

et l'autre moteur, pour donner le mouvement à toute la transmission. MM. Boudier ont profité de cette occasion pour appliquer un système d'embrayage fort ingénieux (fig. 64).

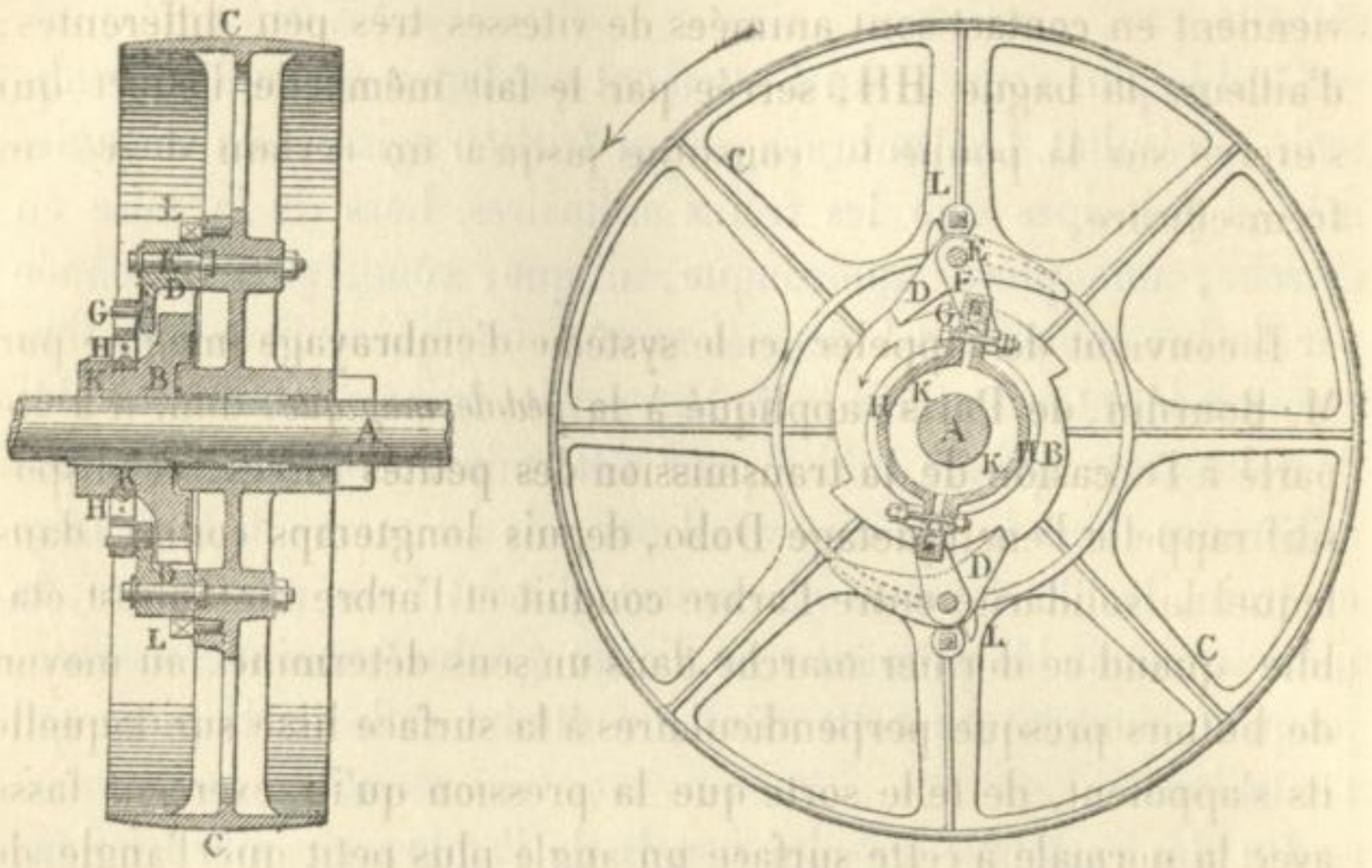


Fig. 64. — Embrayage Boudier.

AA est l'un des arbres de transmission, solidaire de la roue à rochet BB, et tournant avec elle dans le sens indiqué par les flèches; CC est la poulie sur laquelle passe la courroie actionnée par l'un des moteurs; cette poulie est folle sur l'axe, mais, dans la situation indiquée par la figure, les deux linguets DD venant mordre dans les dents de la roue à rochet B, la poulie C entraîne l'arbre A dans son mouvement. Le linguet D oscille autour de l'axe E fixé à la poulie; il porte un doigt F, lequel est actionné par la touche G, qui fait partie de l'anneau en deux pièces HH; cet anneau embrasse à frottement doux le manchon KK, solidaire de la roue à rochet BB.

Si l'on vient à suspendre l'action du moteur sur la roue C, l'arbre A continuant à tourner, le cliquet D, sollicité par la touche G, bascule, échappe le rochet et reste suspendu, arrêté dans son mouvement par l'ergot et l'arrêt L, qui l'empêchent de se retourner complètement. La poulie C s'arrête et l'arbre A con-

tinue à tourner. Lorsque ensuite on remet en marche le moteur, dès que la vitesse de la poulie atteint celle de l'arbre, le cliquet D bascule de nouveau et vient faire prise dans les dents du rochet B.

Cette prise se fait sans choc sensible, parce que les pièces qui viennent en contact sont animées de vitesses très peu différentes; d'ailleurs la bague HH, serrée par le fait même de l'effort qui s'exerce sur la poulie C, constitue jusqu'à un certain degré un frein efficace.

Il convient de rappeler ici le système d'embrayage imaginé par M. Bourdin, de Paris, appliqué à la *pédale magique*, dont il a été parlé à l'occasion de la transmission des petites forces; ce dispositif rappelle l'encliquetage Dobo, depuis longtemps connu, dans lequel la solidarité entre l'arbre conduit et l'arbre moteur est établie, quand ce dernier marche dans un sens déterminé, au moyen de butoirs presque perpendiculaires à la surface lisse sur laquelle ils s'appuient, de telle sorte que la pression qu'ils exercent fasse avec la normale à cette surface un angle plus petit que l'angle de frottement; quand l'arbre moteur tourne en sens inverse, les butoirs glissent sans entraîner l'arbre conduit.

Dans le dispositif de M. Bourdin, les butoirs de l'encliquetage Dobo sont remplacés par des balles de caoutchouc, qui donnent à la transmission une douceur extrême.

Le *frein à embrayage automatique* de M. R. Bourgougnon, de Paris, a pour objet d'éviter les accidents graves qui se produisent si fréquemment, lorsque des ouvriers inhabiles descendent de lourdes charges suspendues à la chaîne d'un treuil : si l'appareil n'est pas manœuvré avec prudence, la charge s'affale brusquement, en brisant les cliquets et les dents d'engrenage.

Dans le système de M. Bourgougnon (fig. 65), le frein à ruban A est toujours maintenu pressé par un contrepoids sur la jante de la roue B qu'il actionne; pour faire descendre la charge, il faut soulever légèrement le contrepoids, manœuvre beaucoup plus sûre que la pression directe sur la queue du frein.

Si la roue B était solidaire du pignon C, qui sert à transmettre

Gr. VI. — Cl. 54.

au treuil l'action des manivelles, le frein A s'opposerait au mouvement pendant l'ascension aussi bien que pendant la descente du fardeau; le système que nous décrivons a pour objet de rendre ces deux roues indépendantes pendant la montée et solidaires pendant la descente de la charge; à cet effet, la roue C est folle sur l'arbre DD, sur lequel est fixée la roue du frein B; dans le mouvement de

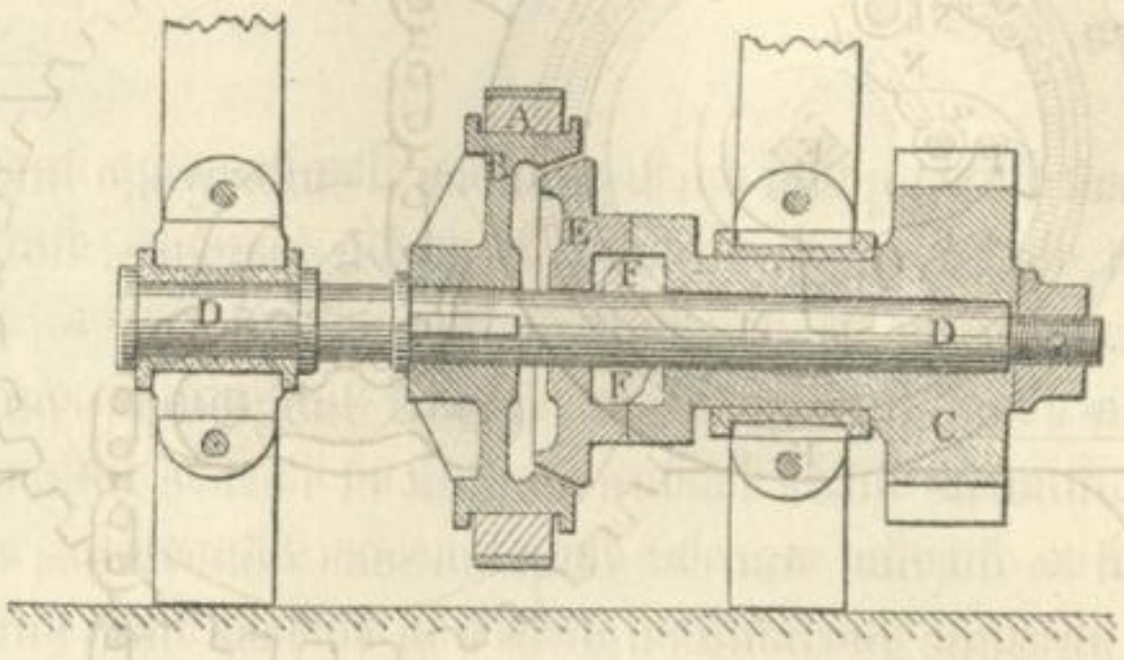


Fig. 65. — Embrayage Bourgougnon.

descente, un cône mobile E est pressé contre la roue B, en se déplaçant le long de l'axe, sous l'action des deux arcs d'hélice FF; l'adhérence qui se produit ainsi entre le cône et le contre-cône rend solidaires les mouvements des deux roues A et C; lors de l'ascension, les flancs de l'embrayage FF rappellent le cône E vers la droite, et rompent ainsi la solidarité de ces deux pièces.

MM. Mégy, de Écheverria et Bazan exposent une série d'appareils élévatoires, dont le jeu repose sur un nouvel embrayage par friction, imaginé par M. Léandre Mégy. L'organe essentiel, qui doit établir ou supprimer la solidarité entre les deux pièces conjuguées par l'embrayage, est une lame d'acier, courbée en forme de cercle, et glissant à l'intérieur d'un cylindre creux, sur la paroi duquel elle s'appuie en vertu de son élasticité; en agissant sur les extrémités de cette lame, on en augmente la courbure, et on la détache ainsi du cylindre creux, qui devient indépendant.

Voici (fig. 66) un des exemples de l'application du système à un treuil élévatoire.

La chaîne AA est actionnée par la manivelle B, au moyen du pignon C et de la roue dentée D ; les flèches indiquent le sens du

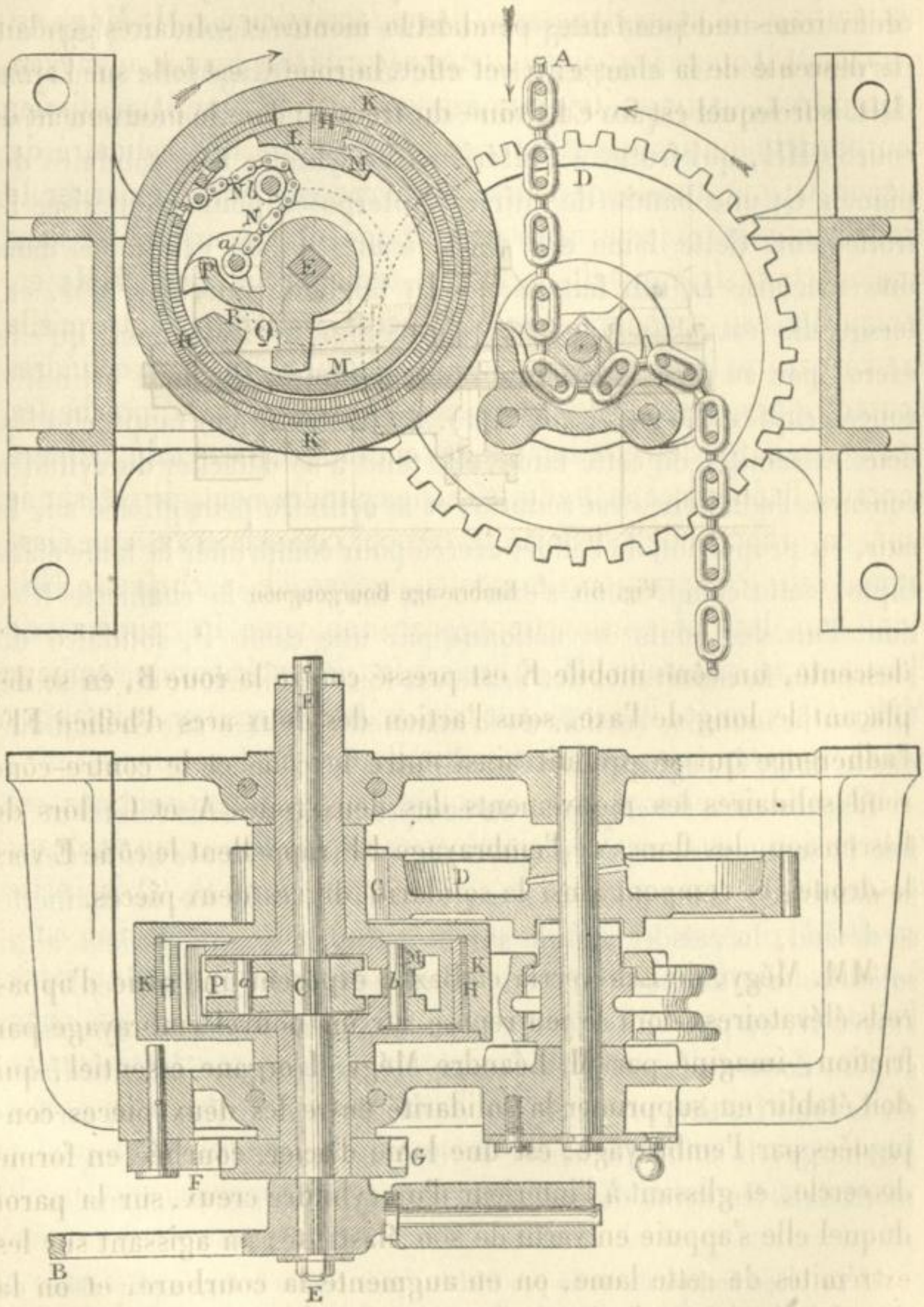


Fig. 66. — Frein Mégy.

mouvement pour l'ascension de la charge ; la manivelle est montée

Gr. VI. — Cl. 54.

sur un arbre EE; un linguet F, agissant sur un rochet G, empêche le retour en arrière du système.

Jusqu'ici le mécanisme est le même que celui des treuils élévatoires ordinaires, avec leurs dangers et leurs inconvénients. M. Mégy est parvenu à donner à cet appareil une sécurité très grande au moyen de son frein élastique. Ce frein est constitué par une lame d'acier courbe HH, qui frotte à l'intérieur du cylindre KK, solidaire du pignon C; une bande de cuir est interposée pour régulariser le frottement. Cette lame est saisie à une de ses extrémités dans une mortaise L, qui fait partie du tambour intérieur MM, et, lorsqu'elle est abandonnée à elle-même, le frottement qu'elle exerce par sa face extérieure rend solidaires les deux cylindres concentriques MM et KK; lorsque, au contraire, on rapproche les deux extrémités de cette lame, elle tend à se détacher du cylindre concave, l'adhérence est réduite, et le cylindre peut glisser sur le cuir, en proportion de l'effort exercé pour comprimer la lame élastique; cette compression s'exerce au moyen de la chaînette NN, dont l'un des bouts est actionné par une came P, solidaire de l'arbre de la manivelle. Cet arbre est fou à l'intérieur du tambour MM; à la montée, l'action de la manivelle s'exerce sur ce tambour par le doigt Q, agissant sur la saillie R [1].

D'après cette description, on comprend facilement comment se fait la manœuvre: qu'il s'agisse par exemple d'élever un fardeau; la manivelle étant poussée dans le sens de la flèche, la chaînette se détend, le ressort appuie sur le cylindre K, qui devient ainsi solidaire du tambour M; en même temps le doigt Q entraîne l'arrêt R, et par suite le tambour intérieur M; la transmission s'opère donc de la manivelle au pignon C, qui, par l'intermédiaire de la roue D, tire sur la chaîne de levage AA. Si l'on veut arrêter la charge, il suffit de laisser revenir la manivelle; le linguet F mord dans les dents du rochet G, et le fardeau reste suspendu.

[1] La coupe horizontale est un peu trichée : pour rendre la figure plus claire, on a ramené dans le plan horizontal, d'une part, l'attache *aa* de la chaînette sur la came P, d'autre part le galet *b* de roulement de la chaînette, solidaire du tambour M. Du reste ces figures ne donnent qu'une représentation simplifiée et presque schématique du système.

Mais c'est surtout quand il s'agit d'affaler la charge que le frein intervient de la façon la plus heureuse: l'ouvrier appuie en arrière sur la manivelle; cette pesée a pour effet de tendre la chaînette et de comprimer le ressort, en diminuant la pression qu'il exerce sur le tambour KK; le tambour intérieur M est toujours retenu par le linguet F et ne peut dévirer; mais il cesse d'être solidaire du cylindre K, ou du moins le frottement qui retient ce cylindre peut être modéré à volonté, de manière à permettre à la charge de redescendre aussi doucement qu'on le désire.

On voit combien la manœuvre est simple et sûre; pour monter la charge, on tourne la manivelle; le poids de cette charge est limité à volonté par le constructeur, au moyen de la tension du frein élastique; que si, par une imprudence trop commune sur les chantiers, on veut imposer au treuil une charge dépassant la limite fixée, et pouvant compromettre la solidité des organes, l'appareil refuse son service.

La charge élevée, il suffit, pour l'arrêter, de lâcher la manivelle; pour affaler la charge, on n'a qu'à exercer sur la manivelle une pression modérée dans le sens rétrograde; la vitesse de descente se règle sur cette pression; si elle devient trop grande, on arrête la descente en lâchant la manivelle; l'arrêt est très prompt, mais il n'est pas brusque, et ne saurait amener de rupture, puisque l'effort résultant maximum ne peut dépasser le frottement résultant de l'élasticité de la lame.

La puissance du frein ainsi constitué dépend de deux éléments principaux: en premier lieu, la bande de la lame d'acier, et en second lieu la position du point d'encastrement L par rapport à cette lame; suivant que ce point se trouve à l'une ou à l'autre des extrémités ou au milieu de cette lame, le frottement exercé varie dans de larges proportions; il se passe là un phénomène analogue aux effets d'une corde enroulée sur un treuil; l'adhérence dépend de l'arc compris entre les points d'application de la puissance et de la résistance.

Les principes que nous venons de rappeler ont reçu les applications les plus variées.

MM. Sautter et Lemonnier exposaient un grand nombre d'appa-

Gr. VI. — Cl. 54.

reils de levage fondés sur cette théorie : treuils à main, treuils à vapeur ou à transmission, treuils roulants, monte-charge, ascenseurs, grues, etc.

Parmi ces nombreuses applications, citons seulement un organe fort remarquable : c'est un frein de sûreté, qui a pour objet de limiter automatiquement la vitesse de descente des charges; la tension du ressort qui sert de frein est réglée par la force centrifuge de masses de plomb solidaires du treuil, et par conséquent la vitesse se modère d'elle-même, aussitôt qu'elle a atteint une valeur déterminée.

M. F.-A. Achard, de Paris, étudie depuis de longues années l'application de l'électricité, pour embrayer ou désembrayer instantanément et à distance les pièces en mouvement. L'idée est en elle-même fort ingénieuse, et le système, une fois devenu bien pratique, peut rendre, dans beaucoup de cas, des services sérieux. Le fluide électrique, en circulant dans les spires d'un électro-aimant, peut déterminer des attractions très énergiques, et produire des frottements considérables, très propres à assurer la solidarité des organes en regard, sans que ces organes aient à subir des déplacements notables; d'autre part, un simple fil conducteur suffit pour transmettre l'action du fluide, et la manœuvre d'un commutateur très simple, placé à n'importe quelle distance de l'embrayage à commander, permet de le mettre en jeu.

Soit une paire d'électro-aimants, disposés parallèlement et de part et d'autre d'un arbre moteur, et solidaires de cet arbre; sur ce même arbre est enfilé, fou et à une petite distance des pôles, un disque en fer doux portant une jante de poulie à sa circonférence. Actuellement, que l'on fasse passer un courant dans l'électro-aimant : ce disque en fer va être appelé et serré énergiquement contre les pôles de l'électro-aimant, sera entraîné par eux, et la poulie se mettra en mouvement; l'adhérence sera proportionnée à l'intensité du courant et pourra être graduée à volonté.

M. Achard présente diverses applications de son système; une des plus remarquables est celle ayant pour objet la manœuvre des freins de chemins de fer. Des expériences nombreuses ont montré

que le frein électrique donne un serrage très énergique et surtout très prompt. Quelques compagnies étudient avec persévérance les moyens d'échapper à certains inconvénients, qui ont empêché jusqu'ici le frein Achard de se répandre dans la pratique courante. Il y a lieu d'espérer que ces études seront tôt ou tard couronnées de succès, et que l'industrie sera dotée d'un embrayage ne laissant rien à désirer comme promptitude, comme sécurité et commodité d'emploi.

La manœuvre des embrayages en mouvement donne lieu, dans les ateliers, à de nombreux et graves accidents; qu'il s'agisse de monter ou de descendre une courroie, de mettre en prise un engrenage, d'arrêter un outil en marche, les ouvriers, circulant au milieu d'organes animés souvent de vitesses considérables, peuvent être saisis et broyés avant qu'on ait eu le temps d'arrêter le moteur. Ces douloureuses catastrophes, malheureusement trop fréquentes, ont inspiré à divers groupes d'industriels l'idée d'encourager les inventeurs à rechercher des moyens simples et pratiques d'en éviter autant que possible le retour. M. Engel-Dollfus, de Paris, exposait les modèles de divers appareils de sécurité, parmi lesquels il faut citer, comme se rapportant au sujet que nous traitons actuellement :

Divers monte-courroie (*Biedermann, Durand, Baudouin*);

Un embrayage à manivelle avec points morts;

Un débrayage électrique;

Un embrayage permettant l'arrêt et la mise en marche d'une transmission sur toute sa longueur;

Un embrayage simple avec points d'arrêt, et un autre avec points d'arrêt et ressort, etc.

La plupart de ces dispositions ne sont pas nouvelles, à proprement parler; quelques-unes sont décrites dans le présent rapport; mais ce qui est digne d'attirer l'attention, c'est la direction dans laquelle ces recherches sont poursuivies.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION III.

TRANSMISSIONS DIVERSES.

Sommaire. — Machine à vapeur Malescheff. — Transmission de Bourdon (Charles). — Accouplement Goubet. — Transmission Kurtz. — Arbre flexible de Stow. — Ezra Brooks. — Horloges pneumatiques.

Considérations sur la transmission et la distribution de la puissance. — Transmission électrique Fontaine.

Les transmissions que nous avons passées en revue dans les sections précédentes sont de beaucoup les plus en usage dans les ateliers. Néanmoins, l'Exposition présentait un certain nombre d'autres dispositifs ayant le même objet, et dont quelques-uns offraient, par leur originalité, un intérêt véritable; nous les grouperons ensemble dans la présente section.

Citons en premier lieu le petit modèle de machine à vapeur exposé dans la section russe sous le nom de M. Malescheff (fig. 67). Le mouvement rectiligne alternatif de la tige de piston PB produit le mouvement de rotation continue de l'arbre XX, au moyen d'une transmission intéressante et nouvelle. Le bouton de manivelle M décrit un cercle, dont le diamètre est égal, non pas, comme dans les machines ordinaires, à la course totale du piston, mais seulement à la moitié de cette course. La bielle MB est extrêmement courte; sa longueur est juste égale à celle de la manivelle, c'est-à-dire au *quart* de la course; elle se développe alternativement dans le prolongement et en retour de la tige PB du piston, et, dans certaines positions, elle lui est perpendiculaire. Parallèlement à cette bielle est une tige BC, dont la longueur est le double de BM, et qui vient s'articuler en C au milieu d'une traverse DE, dont les deux extrémités décrivent des arcs de cercle autour de deux points fixes GF.

Il résulte des propriétés bien connues des quadrilatères que, si les proportions des quatre côtés GF, FD, DE, EG sont convenable-

ment choisies, le milieu C du côté DE opposé à la droite horizontale FG décrira sensiblement, dans ses excursions, une droite horizontale. Dès lors, le point M décrivant un cercle et se trouvant au milieu de CB, le point B décrira une droite verticale.

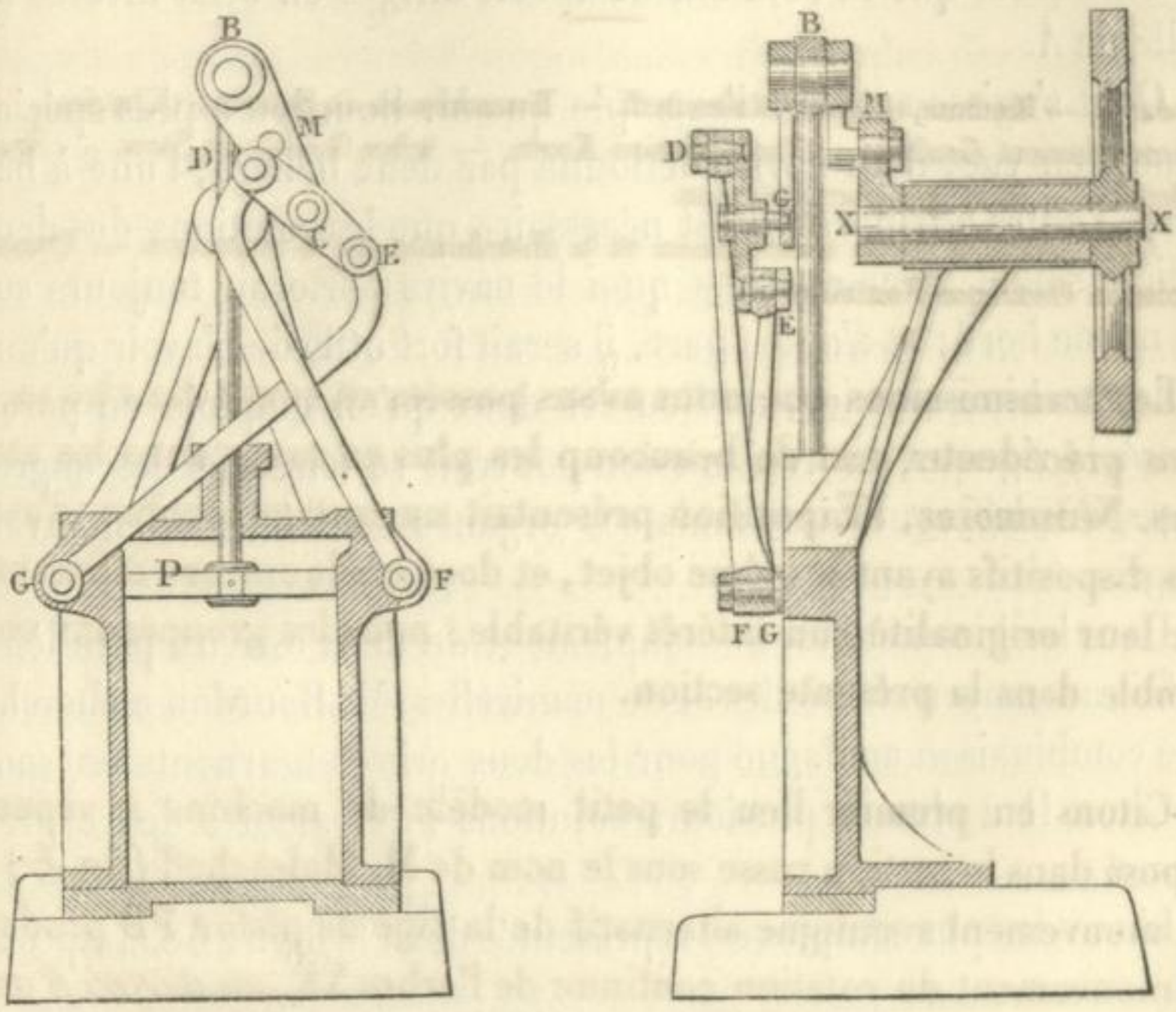


Fig. 67. — Machine Malescheff.

Ainsi la tige du piston se trouvera, sans glissières, guidée verticalement, comme dans le parallélogramme de Watt. Cette solution toute nouvelle d'un problème qui a si longtemps appelé les recherches des ingénieurs est remarquable à plus d'un titre. Un point fort intéressant, c'est que l'ensemble de la machine est extrêmement ramassé, ce qui, dans des cas nombreux, peut présenter des avantages importants.

Disons que, sous sa forme actuelle, cette transmission ne saurait être considérée comme immédiatement applicable à de puissantes machines. Mais elle procède d'un principe de cinématique ingénieux, qui, amélioré et complété au point de vue pratique, pourra un jour donner lieu à des applications sérieuses.

Gr. VI. — Cl. 54.

M. Bourdon (Charles) s'est posé et a résolu un problème de cinématique qui se présente assez fréquemment : étant donné un arbre A animé d'un mouvement de rotation continue, transmettre ce mouvement à un second arbre B parallèle au premier, mais de telle sorte que la rotation de B soit dirigée en sens inverse de celle de A.

Qu'il s'agisse, et c'est l'exemple que M. Bourdon a plus spécialement en vue, d'un navire actionné par deux hélices, l'une à bâbord, l'autre à tribord, il est nécessaire que les rotations des deux hélices soient inverses, sans quoi le navire porterait toujours sur un même bord; et d'autre part, il serait fort utile de n'avoir qu'une seule machine motrice, au lieu des deux qu'on emploie en pareil cas. A la rigueur, la transmission pourrait se faire par des engrenages ou des courroies; mais ces organes sont ici d'un mauvais usage.

Dans les locomotives, l'accouplement de deux essieux parallèles se fait au moyen de bielles et de manivelles. M. Bourdon a cherché une combinaison analogue pour les deux arbres tournants en sens inverses. Il a obtenu plusieurs solutions intéressantes de ce problème.

L'une des plus simples est représentée dans la figure 68 ci-après :

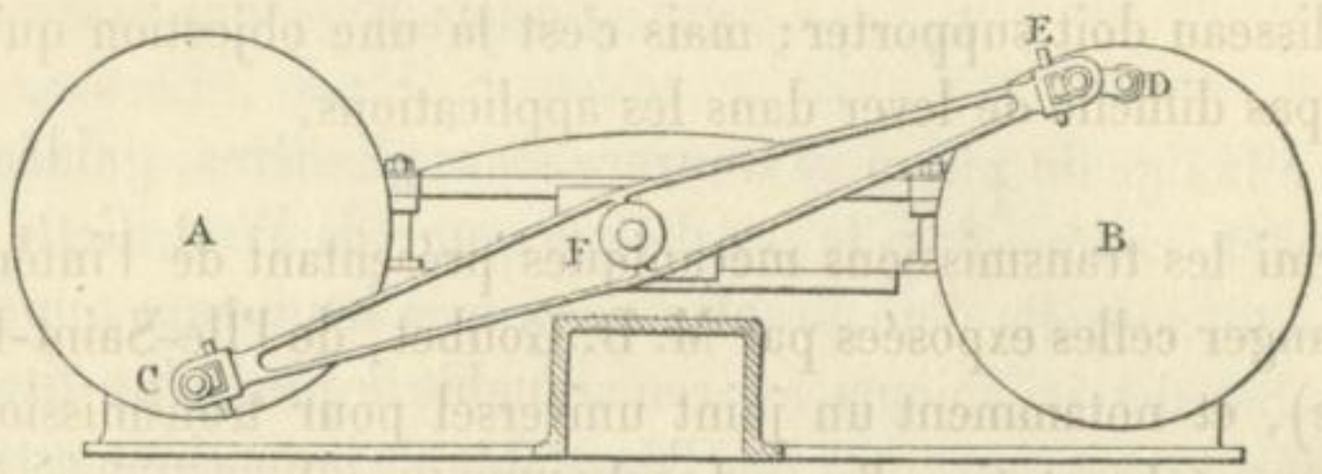


Fig. 68. — Accouplement Bourdon.

Les deux arbres à conjuguer, A et B, portent des manivelles AC, BD, d'égale longueur. Un balancier CE oscille autour de son centre F, lequel est porté par un coulisseau pouvant glisser le long de la ligne AB des centres; l'une des extrémités C du balancier est articulée avec le bouton de manivelle C, l'autre extrémité E est

reliée au bouton de manivelle D par un manneton DE. Le fonctionnement de ce mécanisme se lit immédiatement sur la figure.

Avec la disposition ci-dessus, les vitesses de rotation des deux arbres ne sont pas rigoureusement égales; si l'arbre A est animé d'un mouvement uniforme, le mouvement de B sera légèrement irrégulier; mais, avec des proportions convenables des divers organes, ces différences sont peu importantes.

M. Bourdon indique d'autres solutions, moins simples il est vrai, mais dans lesquelles ce léger défaut est évité, et qui donnent une transmission mathématiquement rigoureuse.

Dans ces mécanismes, l'un des deux arbres ne peut se mettre en mouvement, sans que l'autre tourne immédiatement dans un sens déterminé, et avec une vitesse égale, ou à très peu près, à celle du premier, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de point mort; on peut dès lors se contenter d'un seul moteur (sans point mort) pour actionner les deux arbres, ou bien monter une machine à un seul cylindre sur chacun des arbres; en orientant convenablement les manivelles motrices, on sera sûr d'avoir toujours un bon départ. Ce résultat, obtenu, dans les locomotives, au moyen de deux manivelles d'accouplement, est atteint ici par un balancier unique. Il faut remarquer néanmoins que les frottements dus à l'action de la glissière sont assez considérables, à cause des pressions élevées que le coulisseau doit supporter; mais c'est là une objection qu'il ne serait pas difficile de lever dans les applications.

Parmi les transmissions mécaniques présentant de l'intérêt, il faut ranger celles exposées par M. D. Goubet, de l'Île-Saint-Denis (Seine), et notamment un joint universel pour transmission du mouvement de rotation d'un arbre à un autre arbre non parallèle, ou même situé dans un plan différent. Le principe est le même que celui du double joint à la Cardan; par conséquent, les vitesses angulaires des deux arbres sont égales pendant une rotation complète, et si le mouvement de l'un des deux arbres est uniforme, celui de l'autre arbre l'est également. Les organes sont groupés habilement et leurs dispositions heureusement combinées.

Gr. VI. — Cl. 54.

Il y avait encore à l'Exposition un certain nombre de joints universels, dérivés de plus ou moins près de celui de Cardan.

M. Kurtz, de Paris, a imaginé de réunir bout à bout un grand nombre de tronçons d'arbres, au moyen de joints universels. Il constitue ainsi un ensemble flexible et extensible, qui permet de transmettre la force dans toutes les directions.

Mais la solution de cet intéressant problème est donnée d'une manière bien plus complète et satisfaisante par l'*arbre flexible* exposé par la *Stow flexible Shaft Company*, de Philadelphie.

C'est une corde métallique, qui reçoit à un bout une poulie, à laquelle une courroie imprime un vif mouvement de rotation; à l'autre bout est fixé un outil, vrille, foret, fraise, etc., que l'on tient à la main ou au moyen d'un léger support, et qui peut s'orienter dans tous les sens et se déplacer à volonté.

La figure 69 ci-après représente l'appareil en action pour le

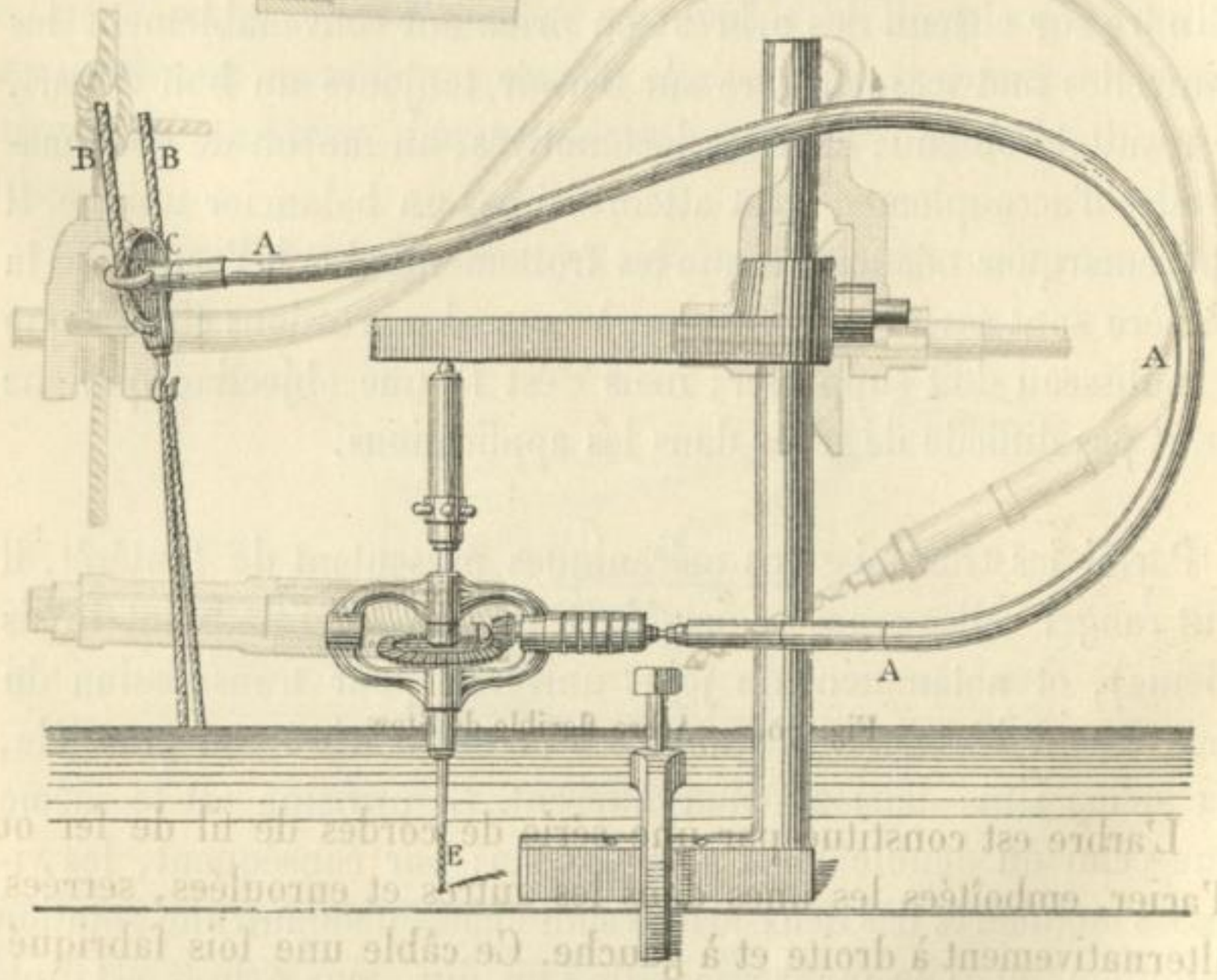


Fig. 69. — Arbre flexible de Stow.

perçage d'un trou dans une feuille de tôle. L'arbre flexible AAAA reçoit le mouvement de rotation d'une corde BB passant sur une

petite poulie C; ce mouvement est transmis par un engrenage conique D au foret E. Le foret est soutenu par un porte-outil léger et facile à déplacer. On peut ainsi percer sans embarras tous les trous d'une même feuille de tôle, sans avoir à manœuvrer cette dernière.

C'est là d'ailleurs le grand avantage du système, le point caractéristique de l'invention; avec les procédés ordinaires, la pièce à travailler, n'y eût-il que quelques trous à percer, doit être soulevée, manœuvrée, mise en place sur la machine-outil, quels que soient son poids et ses formes. Un outil maniable, léger, qu'on peut transporter à volonté et orienter dans tous les sens, donnera dans bien des cas des facilités très grandes d'exécution.

La figure 70 ci-après donne quelques détails sur la construction de l'arbre et de ses appendices.

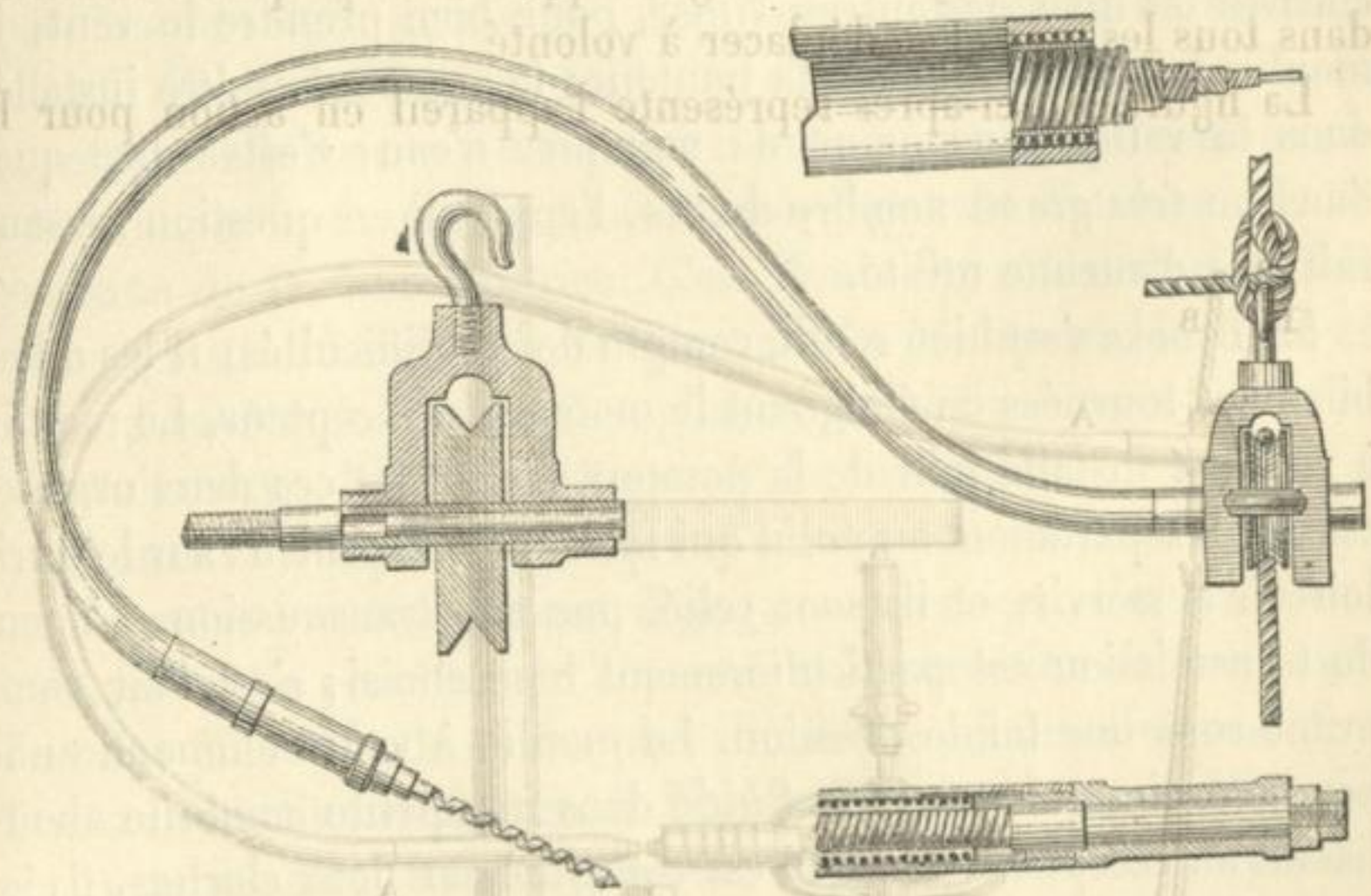


Fig. 70. — Arbre flexible de Stow.

L'arbre est constitué par une série de cordes de fil de fer ou d'acier, emboîtées les unes dans les autres et enroulées, serrées, alternativement à droite et à gauche. Ce câble une fois fabriqué, les bouts sont brasés pour recevoir les supports des pièces mobiles. Le tout est recouvert d'une couche de fils d'acier et enveloppé d'un fourreau de cuir. On fixe à une extrémité l'axe de la petite poulie

Gr. VI. — Cl. 54.

de commande et à l'autre bout un manchon à main, dans lequel tourne librement la pièce de fer sur laquelle l'outil est assemblé par une douille à vis.

Voici un appareil très modeste, établi en vue de satisfaire à des besoins fort restreints, et qui néanmoins présente un véritable intérêt, parce qu'il procède d'une étude attentive et ingénieuse des conditions dans lesquelles il est appelé à fonctionner. Il a été imaginé et construit par M. Ezra Brooks, à Harford, Connecticut (États-Unis).

C'est un moulin à vent actionnant une pompe élévatoire. C'est là un système assez commun en Amérique et usité pour fournir d'eau les fermes isolées; mais il arrive souvent que les conditions à réunir pour que l'ensemble fonctionne convenablement sont exclusives les unes des autres. Ainsi, pour bien prendre le vent, le moulin doit être établi sur la hauteur; la pompe doit être installée dans la vallée sous peine de manquer d'eau; c'est-à-dire que, dans un très grand nombre de cas, l'appareil en question ne saurait être d'aucune utilité.

M. Brooks s'est bien rendu compte de ces difficultés; il les a habilement tournées en éloignant le moteur du récepteur. Le moulin à vent est installé loin de la pompe; chacun de ces deux organes est établi séparément au point qui lui convient le mieux sur le territoire à desservir, et ils sont reliés par une transmission. L'agent de transmission est particulièrement bien choisi: c'est l'air comprimé sous une faible pression. Le moulin à vent commande une pompe à air, qui refoule le fluide dans une petite conduite aboutissant au récepteur. Celui-ci est constitué par deux cloches, fixées aux extrémités d'un balancier et immergées dans un bassin plein d'eau; une petite distribution amène l'air comprimé sous la cloche la plus basse, et laisse échapper celui contenu dans la cloche la plus élevée; il en résulte que le balancier prend un mouvement d'oscillation qui est utilisé pour commander la pompe élévatoire.

Tel est, dans son ensemble, l'appareil de M. Brooks: il est simple, rustique, peu exposé à se déranger. C'est une idée heureuse que celle d'utiliser l'air comprimé pour une pareille trans-

mission; les conduites de très faible diamètre peuvent se poser partout, sans crainte des gelées; la faible pression employée écarte la plupart des inconvénients inhérents aux modes d'emploi habituels des fluides élastiques: fuites, élévation de température, influence des espaces nuisibles, prix élevés des organes, etc.

Dans un ordre d'idées analogue, il convient de citer les appareils pour distribuer l'heure à plusieurs cadrans au moyen de l'air comprimé. Ces appareils figuraient dans l'exposition de la Société viennoise des horloges pneumatiques; nous nous contenterons de les mentionner, renvoyant pour la description au rapport sur l'horlogerie.

Tel est le contingent assez pauvre d'innovations que fournit l'Exposition de 1878, en matière d'appareils destinés à transmettre le travail. Et cependant, parmi les problèmes qui se posent de nos jours aux industries mécaniques, il en est peu qui présentent autant d'importance que la transmission à grande distance et la répartition de la force motrice. C'est là un des côtés considérables d'une question bien vaste, la question des transports, laquelle résume peut-être les progrès les plus caractéristiques que l'industrie ait réalisés aux différentes étapes de la civilisation.

Prendre un capital en un point où il est stérile, le transporter en un autre point où il peut dégager ses services, c'est en définitive, parmi les procédés qui concourent à la création de la richesse, l'un des plus féconds et des plus illimités comme puissance. Ainsi l'on constate dans l'histoire de l'industrie que chaque amélioration un peu notable, un peu générale apportée dans les moyens de transport, a entraîné avec elle une profonde révolution économique.

Pour n'en rappeler que quelques exemples se rapportant à l'époque actuelle, on peut citer la création des chemins de fer, celle de la navigation à vapeur, les distributions d'eau et de gaz, et enfin le télégraphe électrique, qui n'est qu'un mode de transport de la pensée.

Il est hors de doute que des perfectionnements apportés au

Gr. VI. — Cl. 54.

transport de la force auraient des conséquences non moins importantes : s'il était possible, après avoir créé économiquement le travail dans de grandes usines centrales, de le transporter au loin et de le distribuer, ainsi qu'on le fait pour le gaz d'éclairage et l'eau des grandes villes ; si l'on pouvait, d'une part, recueillir la puissance motrice dans les points les plus favorables et, d'autre part, la mettre à la libre disposition de ceux qui en ont besoin, de telle sorte que chaque ouvrier l'eût sous la main et à bas prix, les conditions de la production industrielle subiraient sans nul doute une transformation totale. Ce serait la mise en valeur des forces indéfinies que la nature met gratuitement à notre disposition sur tous les cours d'eau, et qui se perdent aujourd'hui, faute d'être mises à portée des ouvrages qu'elles pourraient exécuter ; ce serait, à un point de vue tout différent, la restauration du travail en famille, le plus sain, le plus moral, le plus productif de tous, au dire de tous les économistes : le travail en famille, si gravement menacé aujourd'hui par les nécessités de la concurrence industrielle et par la centralisation des métiers à proximité du moteur qui les anime. Quelle serait la portée d'une pareille révolution ? On peut être sûr qu'elle serait considérable, mais il est impossible d'en mesurer toute l'étendue.

Jamais peut-être à aucune époque on n'a plus vivement ressenti la nécessité de se procurer enfin les moyens de transmettre le travail à de grandes distances, économiquement et sans déperditions démesurées. Et cependant l'Exposition était à cet égard d'une pauvreté regrettable.

En 1867, on avait vu apparaître les câbles télédynamiques de M. Hirn, qui constituent, dans certains cas, une solution précieuse ; Armstrong avait fait connaître ses transmissions par l'eau comprimée ; aux travaux de percement du Mont-Cenis, on avait fait usage de l'air comprimé pour envoyer au fond des galeries la force motrice recueillie en dehors du tunnel.

Ces trois modes de transmission, câbles métalliques, eau comprimée et air comprimé, ont, depuis cette époque, reçu les uns et les autres des applications nombreuses, importantes et variées ; des perfectionnements d'un grand intérêt y ont été apportés, mais les

principes sont restés les mêmes. Les câbles télédynamiques ne figurent pas à l'Exposition de 1878. Quant aux apparaux fonctionnant par l'eau comprimée ou l'air comprimé, nous avons précédemment passé en revue les principaux de ces organismes, et nous n'avons pas à revenir ici sur leur description. Mais, quel que fût d'ailleurs le mérite que présentassent ces machines, aussi bien comme conception que comme exécution, il faut bien convenir qu'elles n'étaient que l'application à des cas spéciaux de principes parfaitement connus. Elles ne constituaient, pas plus que leurs devancières, une solution générale, et n'ont pas marqué un progrès réellement important vers le but qu'il s'agirait aujourd'hui d'atteindre.

Il semble qu'un véritable découragement se soit emparé des esprits; qu'on ait pour le moment renoncé d'un commun accord à attaquer ce problème ardu, qui s'impose cependant d'une manière si pressante aux recherches des inventeurs; on étend, on varie, on perfectionne les applications spéciales, mais la solution générale est encore à trouver.

L'électricité pourra-t-elle nous la fournir? L'idée de se servir de ce fluide et des attractions et répulsions énergiques qu'il produit pour transporter la force à distance est venue à plus d'un esprit; elle est reproduite par M. Fontaine (Hippolyte); il propose de réunir par un conducteur deux machines Gramme : l'une, actionnée par un moteur, engendrerait le courant; l'autre se mettrait en mouvement sous l'action du courant développé par la première.

Une disposition fort analogue avait été proposée, il y a quelques années, par M. Bréguet, pour utiliser la chute d'eau de la Monnaie. Mais il faut dire que les progrès réalisés depuis quelques années dans la construction des machines dynamo-électriques et magnéto-électriques ont rendu abordables des difficultés de mécanique, que l'on pouvait naguère considérer comme insolubles. Dans l'état, le problème ne peut pas être considéré comme résolu; en matière d'électricité, bien des questions, même de celles qui semblent simples, soulèvent entre les savants des controverses de principe; et quand on en arrive à ces appareils compliqués, qu'on

Gr. VI. — Cl. 54.

appelle des producteurs ou des récepteurs d'électricité, les incertitudes demeurent bien plus grandes encore. Pour ce qui concerne spécialement le mode de transmission proposé par M. Fontaine, le jury n'avait aucun moyen de se rendre compte, même par aperçu, des résultats qu'on en pouvait espérer, soit comme rendement, soit au point de vue de l'influence que pouvaient exercer les dispositions des machines, la longueur des conducteurs, leur isolement, leur mode de construction, etc. Il lui était donc impossible de porter sur le système une appréciation raisonnée. Il est hors de doute, du reste, que si l'on pouvait parvenir à réaliser la transmission électrique de la force motrice, à des distances un peu grandes, sans déperditions trop fortes, si en même temps il était possible d'obtenir une répartition convenable, entre un nombre suffisant de récepteurs, du travail confié au conducteur sous forme de courant électrique, l'immense problème de la distribution de la puissance dynamique serait bien près d'être résolu. Rien de séduisant d'ailleurs comme la pensée de canaliser des torrents de force motrice, en les faisant circuler, sous forme de courants électriques, dans de simples conducteurs, éminemment flexibles, et se pliant bien plus facilement que les conduites d'eau et de gaz à toutes les conditions locales de tracé, parfois si difficiles et si coûteuses à satisfaire au milieu des réseaux enchevêtrés d'artères de toute nature qui encombrent le sol et le sous-sol de nos villes, ainsi que les murs et les planchers de nos usines et de nos habitations. Mais, en l'absence d'expériences précises et bien contrôlées, il est difficile d'affirmer dès aujourd'hui si l'industrie est enfin en possession de la solution définitive.

SECTION IV.

APPAREILS DE GRAISSAGE, JOINTS, ETC.

Sommaire. — Généralités. — Division.

Transmissions mécaniques. — Lois du frottement. — Instruments pour l'étude des lubrifiants, de Deprez, de Lebeau.

Corps frottants. — Bronze. — Antifriction. — Bronze phosphoreux. — Gaïac. — Verre. — Galets de roulement.

Corps lubrifiants. — Huiles végétales. — Corps gras d'origine animale. — Huiles minérales. — Plombagine. — Ozokérite. — Eau.

Appareils graisseurs. — Paliers-graisseurs de Casalonga, de Béthouart et Brault, de Hignette. — Appareil de Raffard.

Joints fixes. — Matières pour les joints. — Minium. — Plomb. — Cuivre. — Caoutchouc. — Cuir. — Joints d'Adeline, de Legrand (Louis), de Perroncel. — Amiante. — Joints de Taverdon, de Shick.

Joints entre surfaces glissantes. — Joints hydrauliques de Caudron. — Joints de vapeur. — Garnitures de pistons. — Presse-étoupe. — Joints d'air. — Garnitures hydrauliques. — Garnitures métalliques. — Garnitures en caoutchouc, en cuir.

Dans toute transmission mécanique, il y a des frottements qui absorbent une partie plus ou moins importante de la puissance transmise; dans toute transmission par l'intermédiaire des fluides, eau, vapeur ou air, il y a des fuites. Nous allons étudier les moyens proposés pour atténuer ces déperditions.

Si modeste que paraisse au premier abord un pareil sujet, il ne laisse pas que d'offrir un intérêt considérable. La dépense du graissage des machines est fort loin d'être négligeable; elle entre pour une part importante dans le prix de revient de la force motrice. En outre, dans une transmission un peu étendue, les points qui donnent lieu à des déperditions se comptent par centaines; de telle sorte que, si les procédés mis en œuvre pour les empêcher de se produire ne sont pas très parfaits, on arrive promptement à ce résultat, que la transmission absorbe la presque totalité du travail moteur qui lui est confié, et que les outils à mettre en mouvement n'en peuvent plus utiliser qu'une minime partie. On peut dire que le succès de la plupart de nos installations mécaniques dépend en

Gr. VI. — Cl. 54.

grande partie de la perfection apportée dans l'établissement et l'entretien des organes glissants, et dans la confection des joints.

Les progrès réalisés en cette matière ont suivi pas à pas ceux obtenus dans la construction générale des machines; c'est dire que les plus importants d'entre eux datent déjà d'une époque assez éloignée, et qu'on ne doit pas s'attendre à trouver, à l'Exposition de 1878, beaucoup de procédés véritablement originaux et constituant des améliorations très importantes. Tous les constructeurs soigneux font aujourd'hui grande attention à ce que les frottements soient doux et faciles, à ce que les joints perdent le moins possible; mais les moyens qu'ils emploient à cet effet sont à peu près partout les mêmes.

En étudiant les diverses machines de l'Exposition, nous avons eu l'occasion d'indiquer la plupart des dispositifs remarquables ayant pour objet de résoudre ce problème; nous n'avons pas à y revenir; mais il nous reste à faire l'étude des expositions qui se rapportent spécialement à la question des frottements et des joints.

En ce qui concerne les transmissions mécaniques, ce sont les frottements qui sont le facteur principal dans les déperditions de travail. L'importance de ces frottements dépend avant tout de la lubrification et du poli des surfaces en contact. Dans les transmissions bien établies et bien entretenues, le coefficient de frottement est très faible; il se maintient, en général, bien au-dessous des chiffres les plus favorables inscrits dans les manuels et aide-mémoire.

Sans entrer à cet égard dans de longues démonstrations, il suffit de rappeler quelques faits bien connus. Ainsi une machine à vapeur de bonne construction et bien entretenue rend couramment, en travail mesuré au frein sur l'arbre, de 80 à 85 p. o/o et souvent plus du travail indiqué sur le piston. La résistance à la traction d'un convoi de chemin de fer, circulant en palier et à petite vitesse, ne dépasse pas 2 à 3 kilogrammes par tonne de poids brut du train. Si, en partant de ces données, on remonte à la valeur qu'il convient d'attribuer au coefficient de frottement, on arrive à des chiffres inattendus, inférieurs de moitié ou des

deux tiers à ceux qui servent de base aux calculs ordinaires dans la plupart des ateliers.

Les valeurs du coefficient de frottement usuellement adoptées résultent d'expériences déjà anciennes. La discordance qui se manifeste entre les résultats qu'ils fournissent et ceux obtenus dans la pratique démontre que des progrès notables ont été accomplis dans la construction et le graissage des organes frottants; elle donne, pour ainsi dire, la mesure même de ces progrès. De nouvelles expériences sont désirables, pour fournir des bases exactes aux calculs des mécanismes, tels qu'ils sont établis et graissés dans les ateliers modernes.

Des recherches fort intéressantes ont été faites sur ce sujet depuis quelques années; elles ne sont malheureusement pas assez complètes, et ne constituent pas un ensemble de données numériques suffisant pour les cas de la pratique. Néanmoins elles ont permis de constater certains faits, qui peuvent utilement être consultés pour des études ultérieures. Ainsi elles ont fait voir que les lois de Coulomb ne peuvent être considérées comme exactes que dans des limites assez étroites : le coefficient de frottement n'est pas indépendant de la pression réciproque des surfaces frottantes, et il varie dans une large mesure avec leur vitesse relative. La nature du lubrifiant interposé a également une très grande influence; il en est de même de la température.

Des expériences dans cette direction, faites avec précision, et étendues à un grand nombre de substances, auraient une grande importance pour les applications; malheureusement elles sont difficiles et coûteuses, surtout si l'on veut serrer d'un peu près les conditions ordinaires qui se présentent dans la pratique des machines. Aussi les membres du jury ont-ils examiné avec attention les rares expositions dans lesquelles les questions de cette nature étaient abordées. Parmi les appareils d'expérience propres à étudier les phénomènes du frottement et ceux que présentent les corps propres au graissage, on a remarqué l'ingénieuse machine exposée par la maison Muller et Roux, de Paris, et imaginée par MM. Marcel Deprez et Napoli.

Gr. VI. — Cl. 54.

Dans cette machine, le frottement a lieu entre un plateau horizontal, mis en mouvement de rotation par une transmission, et la tranche de trois lames méplates disposées radialement; ces lames sont portées par un second plateau, parallèle au premier, et sur le centre duquel s'exerce une pression, qui est ainsi transmise aux trois lames frottantes, et que l'on peut mesurer au moyen d'une romaine. Ce second plateau est mobile autour de son axe; le frottement tend à l'entraîner avec une vitesse égale à celle du plateau inférieur; ce mouvement est empêché par une lame d'acier, qui s'enroule sur la jante du plateau; une fois la marche de régime atteinte, la tension de cette lame fait précisément équilibre au frottement; la lame d'acier s'attache d'autre part sur la jante d'une petite poulie, sur l'axe de laquelle est fixé un bras de levier, portant un contrepoids; ce contrepoids s'écartant de la verticale, l'écart sert de mesure à la tension de la lame, et par conséquent au moment du frottement. Diverses dispositions sont prises pour enregistrer la variation des efforts, empêcher le grippement, etc.

Une machine à essayer les huiles était exposée par M. Lebeau (J.), de Marseille; cette machine donne, sur un enregistreur, la représentation graphique du frottement et de ses variations; elle est bien entendue et bien établie.

Il serait également fort désirable que l'industrie possédât quelque moyen simple de reconnaître la nature et la qualité des corps gras qu'elle achète; il serait bon que les consommateurs pussent se mettre à l'abri des indignes supercheries dont ils sont parfois victimes. Des efforts considérables ont été faits pour atteindre ce but; mais un procédé réellement général et pratique d'essai des huiles est encore à trouver.

Dans les mécanismes modernes, les glissements s'exécutent presque toujours entre des surfaces abondamment graissées; si, dans de pareilles conditions, le poli plus ou moins parfait des surfaces exerce une influence considérable, il semble qu'il n'en soit pas de même de la nature des matériaux dont ces surfaces sont constituées; que ce soit du bronze, de la fonte, du fer ou de l'acier,

tant que le lubrifiant baigne complètement les parties en contact, le coefficient de frottement paraît être sensiblement le même.

Mais il en est tout autrement quand, par une cause quelconque, excès de pression chassant les graisses, introduction de limaille ou de corps durs, élévation de température, etc., les surfaces viennent à frotter à cru. Il se produit alors une résistance énergique; il y a échauffement, grippement, corrosion, et l'intensité de ces effets dépend beaucoup de la nature de la matière. Il est souvent difficile, dans une marche un peu prolongée, d'éviter que ces circonstances fâcheuses ne se produisent de temps à autre; d'ailleurs, même à l'état normal, il y a toujours une certaine usure. Aussi est-il de règle de constituer les surfaces en contact avec des matériaux d'inégale dureté, de manière à reporter la plus grande part de l'usure sur la pièce la moins coûteuse et la plus facile à remplacer.

D'habitude on fait glisser le fer, l'acier ou la fonte sur du bronze; quelquefois on interpose un métal plus doux, dit *antifriction,* alliage variable et comme composition et comme dureté. Depuis quelques années, certains constructeurs emploient avec avantage, pour coussinets, le bronze phosphoreux, métal d'une homogénéité plus parfaite que le bronze ordinaire, et que l'on peut obtenir à différents degrés de dureté et de résistance. Les bois durs servent assez souvent à faire des coussinets, notamment le *gaïac,* fort en usage dans les steamers pour soutenir les arbres d'hélice.

Un ingénieur américain exposait des coussinets en verre; malgré les avantages que l'inventeur leur attribuait, on ne voit pas que le verre, dur et fragile, soit propre à cet usage, si ce n'est dans des conditions tout à fait restreintes. Un autre inventeur reproduisait une disposition déjà bien souvent proposée : des galets interposés entre les deux surfaces frottantes; on sait contre quelles difficultés pratiques ce moyen d'atténuer les frottements est toujours venu se heurter; il doit être réservé pour certains cas spéciaux.

A côté de la question des matières frottantes vient celle des ma-

Gr. VI. — Cl. 54.

tières lubrifiantes. Pendant longtemps on s'est contenté, pour le graissage des machines ordinaires, des huiles végétales qu'on peut se procurer facilement à assez bon marché. Mais ces huiles offrent un inconvénient grave : elles ne tardent pas, au contact de l'air et des métaux, à se changer en cambouis, et il faut en dépenser de grandes quantités pour obtenir un graissage satisfaisant. Souvent d'ailleurs les huiles fournies par le commerce sont acides et attaquent les pièces métalliques. Employées dans les machines à vapeur pour le graissage des pistons et des tiroirs, les huiles végétales présentent fréquemment un autre danger; elles corrodent les tables du tiroir et le cylindre, et même peuvent causer de graves accidents, si elles sont introduites avec les eaux de condensation dans le générateur de vapeur. On préfère les graisses et huiles animales pour la lubrification des pièces exposées au contact de la vapeur.

Depuis quelques années, on commence à employer avec succès, pour les usages de la mécanique, les huiles minérales provenant de la rectification des pétroles, du goudron de gaz, des huiles de schiste et de boghead. Les huiles minérales propres au graissage des machines sont lourdes et riches en carbone; elles ne se volatilisent qu'à une température élevée et n'ont aucune tendance à se résinifier, ni à former cambouis avec les limailles métalliques. Malheureusement leur prix est encore assez élevé.

Un assez grand nombre de fabricants avaient exposé des matières grasses destinées à la lubrification. Des progrès sérieux ont été accomplis dans la fabrication de ces produits; mais il était fort difficile de se faire une idée exacte de la valeur des échantillons exposés, la composition de ces échantillons et la manière dont ils sont obtenus n'ayant pas été communiquées au jury. Parmi les nouveautés qui figuraient dans les vitrines, il faut citer la plombagine, que recommande comme lubrificateur la Compagnie canadienne de la plombagine. Mentionnons également un produit curieux : la cire minérale ou *ozokérite*, exposée en blocs énormes par M. Paul Dobel, de Boryslaw, en Galicie (Autriche), dans les classes 43 et 47.

Rappelons ici les propriétés de l'eau comme lubrifiant, et l'usage

remarquable qu'a su en faire le regretté Girard pour atténuer les frottements. Gr. VI. — Cl. 54.

Quelle que soit la matière employée pour le graissage, il est nécessaire qu'elle soit amenée constamment et régulièrement au contact des surfaces à graisser, et répartie sur ces surfaces; il faut que l'écoulement en soit à la fois assez abondant pour assurer une lubrification complète, et, en même temps, assez modéré pour ne pas entraîner un gaspillage inutile.

D'ordinaire, près de chaque articulation un peu importante, on dispose un petit réservoir, ayant un volume suffisant pour contenir la quantité de corps gras correspondant à quelques heures de consommation. Ce réservoir est généralement en métal; parfois aussi il est en verre, ce qui permet de voir à chaque instant la quantité de corps gras qui y reste. L'écoulement du lubrifiant devant être très lent, on se sert de divers moyens pour le modérer; le plus souvent ce sont des mèches de coton, agissant par capillarité, à la manière d'un siphon; l'un des bouts de la mèche trempe dans l'huile, l'autre bout arrive au contact de la pièce; le débit augmente avec la vitesse relative des surfaces frottantes, ce qui est une bonne condition d'économie; malheureusement ces deux quantités ne sont pas, à beaucoup près, proportionnelles; l'écoulement se produit même au repos, et entraîne des déperditions fâcheuses. Le débit varie en outre avec la hauteur du liquide dans le réservoir; on le modère au besoin en pinçant plus ou moins la mèche. Dans certains graisseurs, le réglage du débit s'obtient en étranglant les canaux d'arrivée d'huile, au moyen de tiges coniques, de vis fendues ou d'autres artifices analogues, ou bien au moyen d'un petit piston chargé de poids variables et pressant sur le liquide. Plusieurs constructeurs, pour proportionner le débit à la vitesse de la marche, utilisent les vibrations d'un léger ressort ou d'une tige amenée au contact des parties frottantes.

Le graissage de certaines pièces exige des dispositions particulières. Un graisseur ordinaire ne pourrait pas servir pour lubrifier le piston d'une machine à vapeur; la pression de la vapeur chasserait l'huile à chaque coup de piston. On fait alors usage de grais-

seurs fermés; le réservoir de graisse agit comme un véritable sas d'écluse; il est compris entre deux obturateurs, dont l'un est toujours fermé, de telle sorte que l'intérieur du cylindre ne communique jamais directement avec l'atmosphère

S'il s'agit de graisser des organes en mouvement, que la main du mécanicien ne pourrait suivre au vol, on a recours à divers moyens. Pour les machines marines, on fait grand usage de *lécheurs:* ce sont de petites brosses fixes imbibées d'huile, que l'organe de graissage, monté sur les pièces en mouvement, vient toucher à chaque révolution de la machine, en lui empruntant quelques gouttes du liquide lubrifiant. Les graisseurs de poulies folles sont souvent constitués par de petits réservoirs cylindriques, dans lesquels se meut un piston, qui, sous l'action de la force centrifuge, presse sur la surface de l'huile et la force à s'écouler sur l'axe à graisser.

Presque toutes les usines un peu importantes comportent de longues files d'arbres de transmission, portant sur un grand nombre de supports, qui doivent être tenus constamment et soigneusement lubrifiés. Les ouvriers chargés de cette besogne ont à circuler sur des échelles et des passerelles, au milieu de poulies et de courroies en mouvement; c'est un travail dangereux, qui cause souvent des accidents graves, et qui est très difficile à contrôler; d'ailleurs les passerelles de graissage encombrent les transmissions et sont fort gênantes pour le montage des courroies. Depuis plusieurs années, dans les ateliers bien installés, on fait porter les arbres de transmission sur des *paliers-graisseurs,* qui tiennent une quantité de corps lubrifiant suffisante pour subvenir à la consommation de plusieurs semaines. Outre l'avantage de supprimer l'opération, si périlleuse et si embarrassante, du graissage en marche, ces appareils empêchent le déversement du cambouis et la malpropreté qui en est la suite, et ils réalisent une économie notable de l'huile de graissage. Dans ces paliers-graisseurs, le réservoir d'huile est placé au-dessous de l'arbre; l'ascension du corps gras se fait par divers procédés, mais en évitant, autant que possible, qu'il soit agité et battu, ce qui en amènerait promptement l'épaississement et la ré-

sinification. L'huile en excès, après avoir produit son effet, tombe dans un réservoir spécial, où elle se décante et se sépare des limailles et des impuretés qu'elle a pu entraîner, pour revenir, claire et limpide, à son point de départ et servir de nouveau à la lubrification.

Dans le palier-graisseur de M. Casalonga (D.), de Paris, l'ascension de l'huile se fait par la capillarité à travers des brosses appuyées sur le corps de l'arbre par de légers ressorts.

La maison Béthouart et Brault, de Chartres, exposait un palier-graisseur figuré ci-après (fig. 71), et dans lequel l'huile est re-

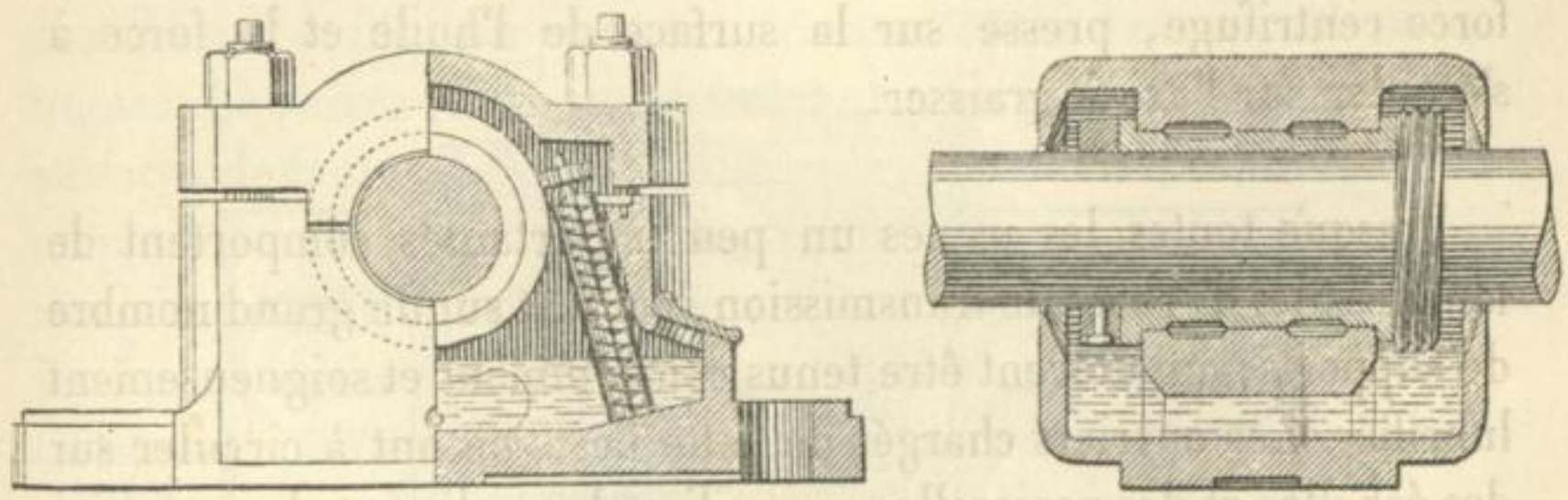


Fig. 71. — Palier-graisseur Béthouart et Brault.

montée par une petite hélice, mise en mouvement par une vis sans fin fixée sur l'arbre; le bas de l'hélice ne plonge que dans les couches superficielles de l'huile, de manière à éviter l'entraînement des détritus et des limailles.

Ce moyen de déterminer l'ascension de l'huile est peut-être un peu compliqué. Le procédé employé par M. Hignette (J.), de Paris, est, au contraire, d'une très grande simplicité; les pattes d'oie (fig. 72), dont sont garnis d'ordinaire les coussinets, sont taillées suivant un tracé calculé de manière à faire marcher l'huile dans une direction déterminée.

L'huile est versée dans un réservoir latéral A, en quantité suffisante pour venir dégorger au contact de l'arbre par l'orifice supérieur du tube O. L'huile en excès vient tomber dans un réser-

Gr. VI. — Cl. 54.

voir inférieur B. Les pattes d'oie étant taillées dans les coussinets sous la forme d'une rainure hélicoïdale, le mouvement de rotation de l'arbre détermine, par entraînement, la progression de l'huile;

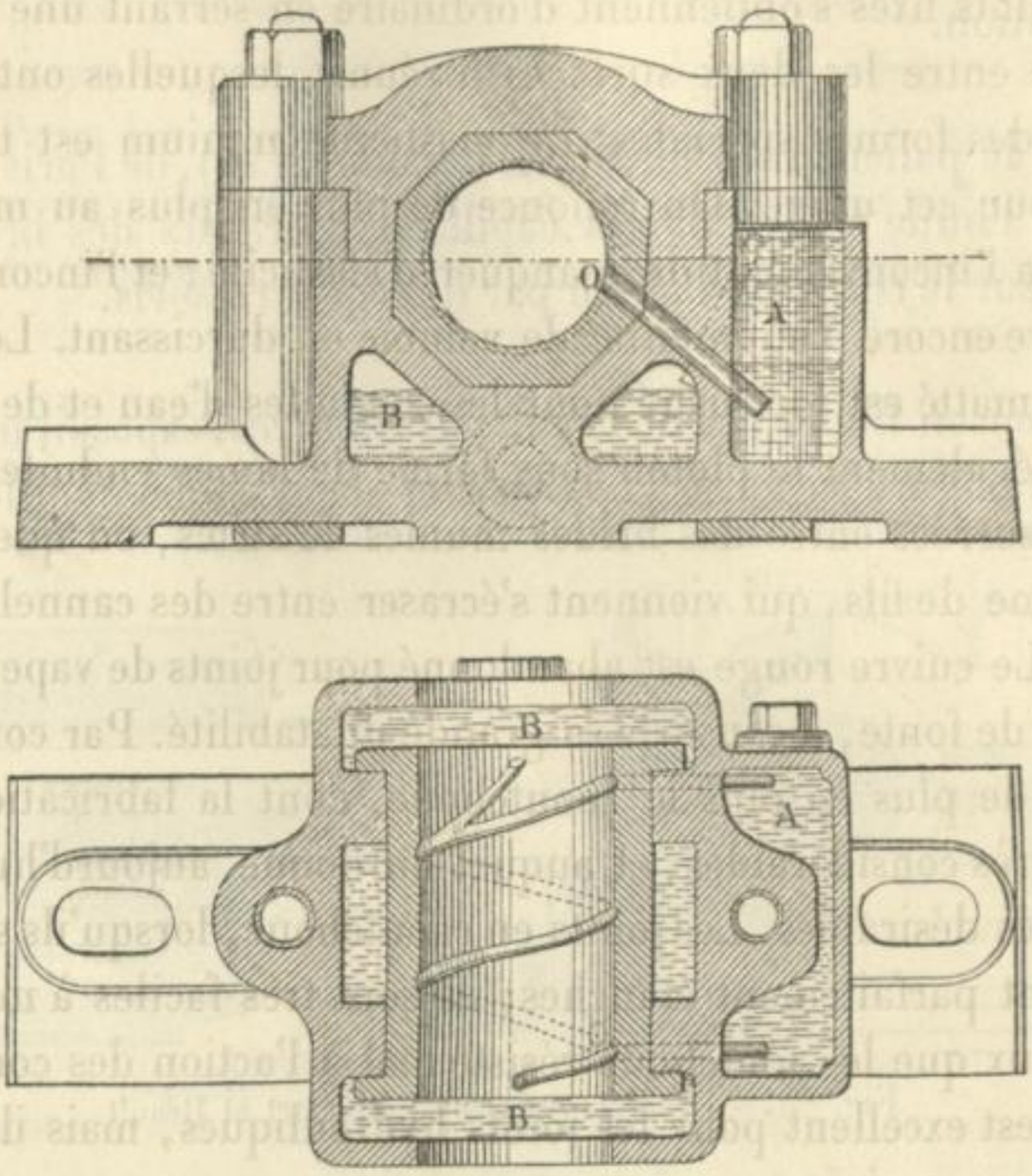


Fig. 72. — Palier-graisseur Hignette.

le liquide pris à un bout du palier s'avance jusqu'à l'autre, pour venir se déverser en se partageant entre les deux réservoirs, le réservoir A conservant toujours un niveau supérieur au réservoir B.

Signalons encore une invention assez curieuse de M. Raffard (N.-J.), de Paris; c'est un procédé ayant pour objet de prévenir le chauffage: au contact du coussinet se trouve une petite balle en alliage fusible, à laquelle est soudé un fil, que tient tendu un ressort; si le coussinet vient à chauffer, l'alliage fond, le ressort est déclenché et se débande, en attaquant une sonnerie ou un signal quelconque, qui appelle l'attention du mécanicien.

Nous arrivons maintenant à la question des joints.

Il faut distinguer les joints entre surfaces fixes, tels que ceux des tuyaux, des fonds de cylindre, des joints entre surfaces mobiles, tels que ceux entre piston et cylindre, presse-étoupe, etc.

Les joints fixes s'obtiennent d'ordinaire en serrant une matière plastique entre les deux surfaces à réunir, lesquelles ont reçu à cet effet des formes spéciales. Le mastic de minium est très employé pour cet usage. On renonce de plus en plus au mastic de fer, qui a l'inconvénient de manquer d'élasticité, et l'inconvénient plus grave encore d'augmenter de volume en durcissant. Le plomb coulé et matté est fort usité pour les conduites d'eau et de gaz. On emploie également le plomb sous forme de lames enduites de céruse, et serrées entre des brides munies de stries, ou quelquefois sous forme de fils, qui viennent s'écraser entre des cannelures coniques. Le cuivre rouge est abandonné pour joints de vapeur entre surfaces de fonte, à cause de sa grande dilatabilité. Par contre, on emploie de plus en plus le caoutchouc, dont la fabrication a fait des progrès considérables, et auquel on donne aujourd'hui toutes les formes désirables. Les joints en caoutchouc, lorsqu'ils sont bien faits, sont parfaitement étanches; ils sont très faciles à monter; il est fâcheux que le caoutchouc résiste mal à l'action des corps gras. Le cuir est excellent pour les joints hydrauliques, mais il ne tient pas la vapeur.

Diverses matières sont encore employées avec succès pour faire les joints fixes.

M. Adeline (E.), de Paris, fabrique, dans ce but, du caoutchouc couvert de plomb, combinaison qui peut rendre des services.

M. Legrand (Louis), de Saint-Quentin, confectionne des joints en carton recouverts de plomb.

La maison Vve Perroncel aîné et Cie, de Paris, expose un cuir-feutre d'un emploi fort commode.

Plusieurs industriels livrent des cartons et des cordes en amiante, qui présentent l'avantage d'être à peu près inaltérables à la vapeur, aux graisses et aux acides.

Quant au mode d'emploi de ces diverses matières, l'Exposition n'offre guère de particularités bien nouvelles à cet égard.

Gr. VI. — Cl. 54.

C'est surtout pour les assemblages des conduites un peu longues que la question offre une certaine difficulté; il faut laisser du jeu pour la libre dilatation et les tassements, sans que l'étanchéité puisse être compromise.

Le joint imaginé par M. A. Taverdon, de Liège, répond parfaitement à ces conditions (fig. 73); il est d'une grande simplicité et d'une construction facile: les deux tuyaux à raccorder sont entourés par un manchon en fonte, à l'intérieur duquel se trouvent logés deux cuirs emboutis (cuir ou caoutchouc), que la pression maintient fortement appliqués sur les parois voisines; chacun des deux tuyaux porte, près de son extrémité, une ouverture circulaire, dans laquelle vient passer une goupille, qu'on chasse de l'extérieur dans un trou percé sur le manchon lui-même; ces goupilles viennent former saillie à l'intérieur, et s'opposent par suite à la séparation des tuyaux dans le sens de la longueur.

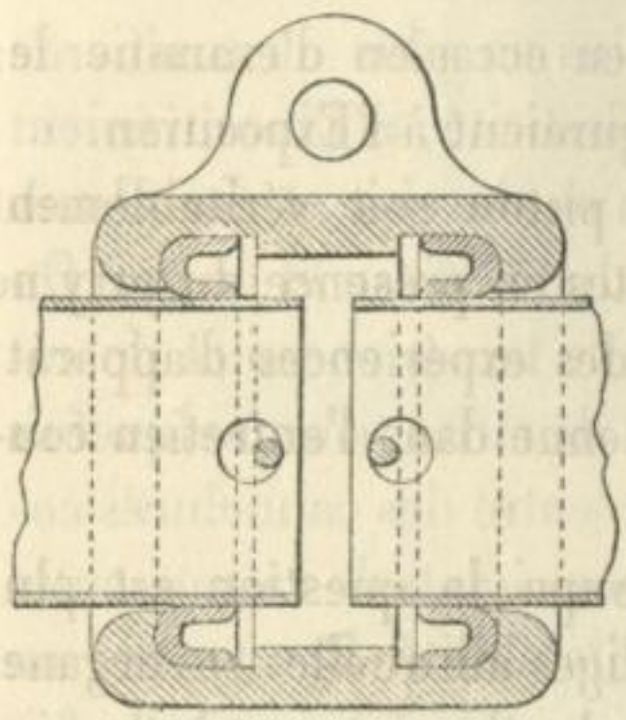


Fig. 73. — Joint Taverdon.

M. Shick (G.), de Schaffouse, expose un raccord pour tuyaux de pompes à incendie; cet appareil ne présente pas de dispositions bien nouvelles, mais il est fort bien entendu et permet de faire très rapidement un joint étanche.

La question est bien plus difficile lorsqu'il s'agit de faire un joint étanche entre des surfaces glissant l'une sur l'autre. Il faut que les surfaces jointes coïncident très exactement, afin que le fluide à maintenir ne puisse pas passer entre elles, et en même temps que leur pression réciproque ne soit pas assez forte pour faire naître des frottements exagérés.

Quand il ne s'agit que de tenir la pression de l'eau, le joint est encore facile à faire; l'étoupe plus ou moins serrée, les segments métalliques élastiques et surtout le cuir embouti réussissent bien.

M. Caudron, de Malaunay (Seine-Inférieure), exposait des gar-

nitures pour presses hydrauliques en cordes de chanvre molles, épissées en anneaux sans fin, et qui semblent être d'un très bon usage.

Les joints de vapeur sont bien plus difficiles à rendre étanches, surtout lorsqu'il s'agit de lignes de contact très développées, comme dans les pistons des machines à vapeur. Aujourd'hui les garnitures de piston sont presque toujours en métal; elles sont construites de diverses manières; nous avons déjà eu occasion d'examiner les dispositifs les plus remarquables qui figuraient à l'Exposition.

Disons qu'il est bien rare qu'un piston soit véritablement étanche; les expériences qui ont été faites en présence du jury ne sont pas bien démonstratives; ce sont des expériences d'apparat, qui ne prouvent guère pour la bonne tenue dans l'entretien courant.

Pour ce qui concerne les presse-étoupe, la question est plus simple, à cause du faible diamètre des tiges auxquelles ces organes donnent passage. On s'en tient encore le plus souvent à l'ancien presse-étoupe, que l'on resserre et que l'on recharge chaque fois qu'il commence à fuir.

Depuis quelques années cependant, on tend à substituer à l'étoupe des matières métalliques; ce sont généralement des alliages, qui se ramollissent légèrement à la température de la vapeur, de telle sorte que la pression du chapeau du presse-étoupe suffise pour les mouler sur la tige : avec un guidage bien précis de cette tige, on arrive ainsi à obtenir des joints étanches et qui n'exigent que peu d'entretien.

S'il est difficile de tenir des joints de vapeur, la difficulté est bien plus grande lorsqu'il s'agit de l'air. Pour n'en citer qu'un exemple, on sait quelles précautions il faut prendre dans la construction et l'entretien des presse-étoupe des machines à condensation; la négligence à cet égard se traduit par des rentrées d'air, qui font baisser le vide du condenseur. Quant aux pistons destinés à tenir de l'air comprimé, les procédés qui réussissent bien pour les pistons à vapeur sont ici peu efficaces. La vapeur, par sa condensation partielle sur les parois, agit comme un véritable lubrifiant. L'air, au contraire, dessèche et brûle les corps gras, et ces

Gr. VI. — Cl. 54.

inconvénients sont encore aggravés par les températures élevées qui se produisent dans les pompes foulantes. Les premiers succès dans la compression de l'air ont été obtenus au moyen de pistons liquides; mais cette solution indirecte est loin d'être générale, et devient souvent inapplicable. Aujourd'hui, dans les machines à compression, on se sert souvent de garnitures métalliques; mais il est nécessaire que l'alésage du cylindre ainsi que l'ajustage, l'entretien et le graissage des garnitures soient extrêmement soignés; de plus, on cherche à éviter l'échauffement et à produire un graissage interne, en projetant dans les cylindres de l'eau en poussière impalpable.

Les pistons en caoutchouc, qui fonctionnaient à l'Exposition dans la machine à air froid de M. Giffard, semblent avoir donné de bons résultats. Dans la machine à air chaud de Rider, des garnitures en cuir embouti, maintenues très grasses, tenaient parfaitement le joint; mais on n'a pas de renseignements sur la durée de ces garnitures.

L'emploi de l'air comprimé se répand beaucoup dans l'industrie; les applications de cet agent à la production et à la transmission de la puissance se multiplient de jour en jour; la question des joints est sans contredit un des obstacles principaux qui s'opposent au développement rapide de ces applications; on peut dire que cette question n'a pas encore reçu de solution à la fois générale et pratique. Des recherches faites dans cette direction présenteraient un intérêt considérable.

CHAPITRE IX.

MACHINES SERVANT À LA MANŒUVRE DES FARDEAUX.

Sommaire. — Objet du chapitre. — Crics. — Verrins. — Crics hydrauliques. — Poulies. — Moufles. — Treuils. — Poulies différentielles. — Poulies à empreintes.

Appareils de levage à bras, de Mast, de Louis, de Sculfort-Maillard et Meurice, de l'*Hercules lever Jack Company*, de Chouanard, de Chauvin et Marin-Darbel, de Moyse, de Piat, de Simon-Perret, de Tangye, de Sautter et Lemonnier, de Suc, de Bernier. — Grues à bras d'Eiffel, de Salin. — Poulain de Varrot.

Appareils élévatoires à vapeur. — Expositions de l'usine de Gothembourg, de l'usine de Sköfde, de l'usine de Porsgrund, de Crichton, d'Appleby. — Grues à vapeur de Voruz, de Caillard, du Creusot, de Chrétien, de Brown.

Appareils divers. — Treuils roulants de Cail, Halot et Cie, de Mason. — Grue de Florio. — Pont tournant de Thomas. — Grue de Priestmann. — Élévateur Renhaye. — Machine à mâter de Bon et Lustremant.

Ascenseurs. — Généralités. — Ascenseurs avec chaîne de Henrtebise, de Lefèvre, de Samain, de Freissler, de l'*Hydraulic engineering Company*. — Ascenseurs du Trocadéro : ascenseur de Bon et Lustremant; ascenseur d'Édoux.

La manipulation mécanique des fardeaux de toute nature, de tout poids et de toute dimension, matières solides, matières pulvérulentes, en vrac ou emballées, a pris une telle extension dans l'industrie, que l'étude complète des moyens mis en œuvre pour l'opérer remplirait des volumes. Nous n'avons pas à parcourir une carrière aussi étendue. Et d'abord nous laisserons de côté les innombrables procédés qui se rapportent à des industries ressortissant à d'autres classes du jury. Nous n'examinerons que les appareils de levage et de manœuvre pouvant s'appliquer également à un grand nombre d'emplois variés, et qui, à ce titre, étaient rattachés à la mécanique générale.

Il est difficile, dans une étude de cette nature, de suivre un ordre bien rigoureux; il suffira d'ailleurs de grouper ensemble les appareils qui offrent entre eux quelque analogie, soit comme destination, soit comme construction. Nous commencerons par les appareils les plus simples, ceux dont l'usage est le plus vulgaire, les

Gr. VI. — Cl. 54.

crics, les verrins, les poulies, pour passer progressivement aux grandes machines qui servent à élever les fardeaux les plus lourds à des hauteurs souvent considérables.

On est tellement habitué à voir, sur les chantiers et dans les ateliers, les crics mis entre les mains de tous les manœuvres, qu'on songe rarement à se rendre compte des conditions multiples que ce simple appareil doit remplir, et des soins que nécessite sa construction.

Le cric n'est qu'un engrenage, qui transmet à une crémaillère l'effort exercé sur une manivelle. Abstraction faite des frottements, il y a dans cette machine égalité entre le travail développé par la puissance, agissant sur la manivelle, et le travail de la résistance, qui pèse sur la crémaillère. Telle est la condition principale du jeu de l'appareil; il suffit, pour y satisfaire, qu'il y ait un rapport, facile à calculer, entre le rayon de la manivelle et ceux des diverses roues d'engrenage. Mais ce n'est pas tout : il est nécessaire que les différents organes soient assez robustes et assez bien assemblés pour résister aux efforts énormes qu'ils ont à supporter, ainsi qu'aux chocs que leur inflige fréquemment la brutalité des hommes qui ont à les manœuvrer; il convient que les frottements ne soient pas exagérés; que la prise des pièces à lever, aussi bien par la tête que par le pied du cric, soit sûre et facile; que la descente puisse être modérée à volonté, et que la charge, une fois soulevée, ne soit pas exposée à redescendre brusquement, ce qui entraînerait les plus graves dangers. Enfin, une fois toutes ces conditions remplies, il en est une dernière, non moins indispensable, et qui ne laisse pas que de présenter des difficultés : il faut que l'appareil, quelle que soit sa puissance, soit assez léger pour pouvoir facilement être manié et déplacé par un seul homme, par deux hommes au plus pour des crics à très longue levée.

Un bon cric est donc en somme une machine assez difficile à bien établir. Si un certain nombre de maisons en livrent qui laissent peu à désirer, ce n'est que grâce à un bon choix des matériaux, à une bonne entente des formes et des proportions, et surtout à une longue pratique de ce genre de fabrication.

Pour la manœuvre des pièces d'un très grand poids, on remplace souvent le cric par le verrin. Le verrin est une vis que l'on fait tourner au moyen de leviers dans un écrou fixe, ou inversement. Comme le déplacement longitudinal de la vis est très faible, comparé au mouvement de la main qui agit sur le levier, il en résulte que l'effort que l'on peut ainsi obtenir est très grand. Le verrin jouit aussi d'une propriété fort utile : sans qu'il soit besoin d'y adapter un rochet, la vis ne revient pas en arrière; la charge, quel que soit son poids, reste soutenue, le retour étant empêché par le frottement de la vis sur son écrou. Mais cet avantage est en partie racheté par un inconvénient assez sérieux; pour que le recul ne se produise pas, il est nécessaire, ainsi qu'on le démontre bien facilement, que le travail du frottement soit, pour le moins, égal à celui de l'élévation de la charge; en fait, il est souvent bien plus considérable; de sorte qu'en réalité le verrin n'utilise qu'une assez faible fraction de la puissance motrice qui lui est confiée. Par contre, il offre une sécurité plus grande que le cric, qui peut causer des accidents très graves, si le linguet de retenue vient à manquer.

Depuis quelques années, on fait usage avec succès de crics à pression hydraulique; ces appareils sont fort simples : c'est un piston de presse hydraulique, mis en mouvement par une petite pompe foulante à main; ils partagent avec les verrins la propriété de maintenir la charge soutenue, sans rochet ni encliquetage, le clapet de refoulement de la pompe faisant ici fonction de linguet de retenue; mais leur rendement dynamique est de beaucoup supérieur. Pour affaler la charge, il suffit d'ouvrir un robinet; en étranglant plus ou moins l'ouverture, on est absolument maître de la rapidité de la descente; c'est un frein liquide d'une grande puissance et d'une manœuvre très sûre.

Les crics et verrins, qui soulèvent les fardeaux en prenant directement appui sur le sol, sont les outils de levage les plus répandus, parce qu'ils s'appliquent, pour ainsi dire, à toutes les manœuvres, sans exiger d'installations préalables. Les appareils funiculaires, poulies, palans, treuils, etc., agissant par suspension,

Gr. VI. — Cl. 54.

et non plus par soutènement, exigent l'établissement de points d'appui placés au-dessus de la charge, c'est-à-dire de charpentes, de poutres, etc., toutes constructions coûteuses, ayant un caractère de fixité et de durée. Par contre, une charge suspendue est bien plus facile à manœuvrer, à faire tourner, à déplacer, qu'une charge soutenue. Aussi, dans tous les ateliers où l'on a à manipuler des poids un peu importants, n'hésite-t-on pas à faire des dépenses, souvent considérables, pour monter des appareils manœuvrant les fardeaux par suspension.

La simple poulie et la moufle, au moyen desquelles on opère l'élévation de petites charges, sont des organes très simples et qu'un grand nombre de maisons fabriquent bien. Il en est de même du treuil ordinaire, à chaîne s'enroulant sur un tambour, mis en mouvement par un engrenage.

Dans ces dernières années, on a imaginé un certain nombre d'appareils ingénieux, dans le but de rendre les manœuvres plus faciles ou plus sûres, et ces appareils prennent chaque jour une place plus importante dans les ateliers. Citons en premier lieu la poulie différentielle. Elle est constituée par deux poulies de diamètres très peu différents, montées côte à côte sur un même axe, et solidaires l'une l'autre : une chaîne sans fin passe successivement sur l'une et l'autre des deux gorges, qui sont taillées à empreintes, à la demande des maillons de la chaîne, de manière à mordre sur celle-ci et à l'empêcher de glisser; la chaîne forme ainsi, au-dessous des poulies, deux grandes boucles pendantes; l'une de ces boucles soutient une poulie avec chappe à crochet, à laquelle on suspend la charge à manœuvrer. Si l'on fait tourner les poulies, les arcs développés par les deux jantes de diamètres différents ne sont pas égaux; par conséquent l'une des boucles pendantes s'abaisse pendant que l'autre s'élève; et ce mouvement est d'autant plus lent, par rapport au déplacement longitudinal de la chaîne, que les diamètres des deux poulies sont plus près d'être égaux; c'est-à-dire qu'avec un effort modéré exercé sur l'un des brins de la chaîne, on pourra soulever un poids considérable suspendu à la poulie à crochet.

Comme dans tous les appareils de levage à grande puissance, c'est-à-dire à mouvement ascensionnel très lent, les frottements suffisent, une fois la charge soulevée, pour la maintenir suspendue; mais ici encore, le travail utile n'est que la moitié au maximum du travail moteur, et, dans la pratique, il n'en est qu'une fraction beaucoup plus faible.

Assez souvent, pour faire mouvoir les poulies conjuguées, on se contente d'agir sur un des bras de la chaîne; l'appareil est alors très simple, fort léger, facile à déplacer et à accrocher à n'importe quelle charpente.

S'il s'agit de lever des charges très lourdes, on agit sur les poulies accouplées au moyen d'une manivelle à grand rayon, ou plutôt d'une troisième poulie d'un grand diamètre, sur laquelle passe une légère chaîne de manœuvre. Quelquefois enfin, on multiplie encore la puissance de l'appareil en faisant agir cette dernière poulie sur des poulies conjuguées au moyen d'une vis sans fin.

L'idée de rendre les mouvements d'une chaîne solidaires de ceux de la poulie sur laquelle elle passe, au moyen d'une gorge à empreintes calibrées, est féconde, en ce qu'elle supprime les embarras résultant de l'enroulement continu de la chaîne sur un volumineux tambour; elle a été appliquée de bien des manières.

Dans les treuils à noix, qui sont aujourd'hui si répandus dans les chantiers des constructions civiles, la chaîne fait un demi-tour sur un pignon, qui porte l'empreinte de six à huit maillons. M. Neustadt a introduit, dans l'établissement des appareils de levage, la chaîne de Galles, se manœuvrant par des pignons, dont les dents font effort sur les boulons qui servent à relier les maillons. A côté de leurs avantages indiscutables, ces divers dispositifs offrent quelques inconvénients. Les maillons de la chaîne doivent s'adapter exactement aux empreintes de la poulie; ce sont deux éléments connexes, qui ne peuvent se séparer l'un de l'autre. Au point de vue de l'exécution des pièces, il n'y a pas là de difficulté sérieuse; on sait aujourd'hui fabriquer couramment des chaînes exactement calibrées, et les empreintes s'exécutent avec toute la précision désirable; mais lorsque, par suite de l'usure ou

Gr. VI. — Cl. 54.

d'efforts exagérés qui ont distendu la chaîne, il se produit une discordance, les deux pièces doivent souvent être mises au rebut, et le réassortiment est quelquefois difficile en dehors des grandes villes. Le treuil ordinaire n'a pas les mêmes inconvénients.

Les appareils de levage étaient représentés fort honorablement à l'Exposition de 1878.

Parmi les maisons qui fabriquent les machines simples, crics, verrins, poulies, treuils, citons : MM. Mast, de Vanves, près Paris, C. Louis, de Paris, Sculfort-Maillard et Meurice, de Maubeuge (Nord); la *Hercules lever Jack Company*, de Newark (États-Unis), expose des crics simples à levier avec crémaillère, en bois et fer, d'une construction très simple et très robuste, et livrés à fort bas prix; MM. Chouanard (J.), de Paris, Chauvin et Marin-Darbel, de Paris, fabriquent des appareils élévatoires variés et d'une bonne exécution; les poulies de MM. Moyse et Cie, de Paris, sont remarquables par leur légèreté et leur excellente fabrication. Citons encore les excellents modèles de poulies de la maison Piat, de Paris, ceux de M. Simon-Perret, de Lyon, et enfin les beaux et bons crics hydrauliques de MM. Tangye frères, de Soho (Angleterre).

Avec l'exposition de MM. Sautter, Lemonnier et Cie, nous abordons les grands appareils de levage à fonctions spéciales. Cette maison a fait des applications nombreuses et fort intéressantes du système si remarquable de frein, imaginé par M. Léandre Mégy, et dont nous avons donné précédemment la description. Cet organe est mis en usage sous les formes les plus diverses, treuils à main ou à vapeur, à tambour ou à noix, grues, sapines, freins à main et automatiques, etc. Toutes ces machines sont ingénieusement conçues, bien exécutées, et chacune d'elles répond d'une manière satisfaisante aux conditions spéciales dans lesquelles elle doit fonctionner.

M. Suc (E.-A.), de Paris, expose une série fort complète d'appareils élévatoires, depuis le simple cric jusqu'à la grande grue roulante, le tout d'un bon dessin et d'une construction solide et bien entendue.

La maison Vve Bernier et Cie, de Paris, emploie, dans ses appareils de levage, la noix à empreinte, avec parachute spécial, constitué par deux cliquets à empreintes, qui mordent directement sur la chaîne. Les produits exposés par cette maison avaient l'aspect robuste qui convient à ces sortes de machines.

Pour terminer ce qui concerne les appareils de levage fonctionnant à bras, citons une grue avec pivot en fer et cuvette en tôle, fort simple, exposée par MM. Eiffel et Cie, de Levallois-Perret (Seine), et une excellente grue d'une construction remarquable, construite par MM. Salin et Cie, de Dammarie-sur-Saulx (Meuse).

Mentionnons encore, parmi les machines destinées à la manœuvre des fardeaux, un petit appareil très simple, construit par M. Varrot, de Paris, et ayant pour but de faciliter la descente des tonneaux dans les caves : on sait combien cette opération est dangereuse, et combien les poulains ordinaires occasionnent d'accidents. Le poulain de M. Varrot comporte, outre les deux brins parallèles, des arrêts qui retiennent le tonneau; ces arrêts se tiennent debout, même sous la charge, et il faut agir à la main sur eux pour les coucher et faire descendre le tonneau. Ce petit appareil très ingénieux, très léger, construit tout en bois, vendu à très bon marché, semble devoir être fort utile pour le service des caves munies de rampes droites.

Arrivons maintenant aux appareils dans lesquels la force de l'homme est remplacée par celle, autrement puissante, de la vapeur.

Les grues et autres machines élévatoires fonctionnant par l'action de la vapeur sont devenues, surtout dans ces derniers temps, d'un usage extrêmement répandu. Ce n'est pas que ces machines permettent de réaliser des économies importantes sur les frais proprement dits de la manutention : une grue à vapeur, si elle produit plus de besogne qu'une grue à main, dépense aussi beaucoup plus comme combustible, graissage, intérêts et amortissement. L'avantage essentiel de ces engins, c'est qu'ils ont un débit considérable, que par conséquent, pour un même mouvement

Gr. VI. — Cl. 54.

de matières, ils réduisent les temps perdus aux chargements et aux déchargements, et permettent une utilisation bien plus complète des outils de transport ou de fabrication, ainsi que des emplacements occupés.

Qu'il s'agisse, par exemple, de l'outillage d'un port : les engins mécaniques de levage permettront de doubler ou de tripler le trafic desservi par une même surface de bassin, par une même étendue de quai; tandis que, d'autre part, les steamers, ces grands instruments de transport, qui coûtent si cher et dont le temps est si précieux, pourront réduire dans la même proportion la durée de leur séjour. Des considérations analogues s'appliquent également à l'économie des gares de chemins de fer, des manufactures, des docks, des magasins, de toutes les usines où se manipulent des marchandises lourdes.

L'Exposition de 1878 était riche en appareils élévatoires à vapeur; peu de nouveautés d'ailleurs, peu d'idées vraiment originales, mais des constructions bien conçues, solides, durables et faisant un bon service.

Les pays du Nord, notamment la Suède et la Norwège, exposaient des treuils à vapeur, aussi remarquables par leurs dispositions que par leur exécution excellente; citons en première ligne, pour ce genre d'expositions, la Compagnie de l'usine de Gothembourg (Suède), la Compagnie de l'usine de Sköfde (Suède) et les Ateliers mécaniques de Porsgrund (Norwège); mentionnons encore les treuils exposés par la maison W. Crichton et Cie, d'Abo (Russie), d'une construction sérieuse et solide.

MM. Appleby frères, de Londres, exposaient une série de grues roulantes à vapeur et d'appareils de levage, bien étudiés, bien équilibrés, bien disposés pour faciliter la manutention, mais d'une exécution un peu trop sommaire, et réellement insuffisante, même pour des appareils de cette nature.

On voyait dans le parc de l'Exposition, près de la porte Rapp, une grande et belle grue fixe à vapeur, construite par M. Voruz aîné, de Nantes; ce magnifique outil pouvait lever une charge de 10,000 kilogrammes à une hauteur de 10 mètres, et la promener

sur un cercle de 16 mètres de diamètre. La commande était faite au moyen de cônes de friction, par une machine à vapeur à deux cylindres, inclinés à 45 degrés et agissant sur une manivelle unique. L'exécution était remarquable, et la marche d'une grande douceur.

La maison Caillard frères, du Havre, avait une exposition très complète d'appareils élévatoires, parmi lesquels on remarquait une belle grue à vapeur, roulant sur rails, fort bien établie, et qui avait fait ses preuves, en rendant des services sérieux lors de la construction des bâtiments du Champ de Mars et de l'installation des produits exposés.

Le *Creusot* présente, dans son importante exposition, une des nombreuses grues à vapeur qui circulent sur les voies ferrées de ce magnifique établissement, pour le service des parcs et des dépôts. Cette grue repose sur quatre roues en fer, portant un solide truc en fonte, dans lequel est encastré le pivot; la rotation est guidée par des galets, parcourant un cercle de roulement fixé au truc; la flèche, en fers spéciaux, est soutenue par des chaînes, qui permettent de l'abaisser ou de la relever; la chaudière verticale fait équilibre à la flèche. Une petite machine à vapeur à deux cylindres donne, au moyen d'embrayages, les divers mouvements, savoir: élévation de la charge, relevage de la flèche, rotation autour du pivot et progression sur les voies; lorsque l'appareil passe sur une plaque tournante, un artifice très simple permet d'utiliser le mouvement de rotation de la grue sur son axe pour faire tourner la plaque elle-même, et lancer la machine sur une voie normale à la direction première. Toutes ces manœuvres se font au moyen de quelques leviers, placés sous la main du mécanicien. Des mâchoires adaptées au truc, et mordant sous les champignons des rails, servent à compléter l'équilibre pour le levage des charges très lourdes.

De pareils outils sont sans contredit d'une extrême commodité, lorsqu'il s'agit de desservir des parcs d'une grande étendue, comme le sont ceux du Creusot. La superficie du parc est divisée en îlots par des voies parallèles, distantes d'une double portée de la grue, et recoupées par des voies transversales, avec plaques tournantes

Gr. VI. — Cl. 54.

aux intersections; la grue peut ainsi saisir une pièce en un point quelconque du parc, et la transporter sans rompre charge en tout autre point de l'aire à desservir. Si la distance à parcourir est un peu grande, la flèche est tournée dans le sens de la voie et relevée presque verticalement, de manière à ramener le centre de gravité de l'ensemble tout près de la verticale du centre du rectangle d'appui, et à assurer la stabilité de la marche, qui, dans ces conditions, peut se faire à bonne vitesse.

M. J. Chrétien, ingénieur à Paris, s'est proposé de simplifier la construction des appareils de levage, en supprimant les équipages de roues dentées, qui sont une cause de complication, d'usure et d'avaries. Dans les grues qu'il construit, le moteur est un piston à simple effet, à longue course, dont la tige est directement attachée à la chaîne de levage; il suffit d'admettre la vapeur au-dessus du piston pour déterminer l'ascension de la charge. Lorsque l'élévation doit être un peu grande, la tige du piston agit sur une paire de poulies mouflées, sur lesquelles la chaîne vient faire plusieurs tours avant de s'attacher au crochet de suspension; ce dispositif, emprunté aux appareils hydrauliques d'Armstrong, a pour effet de multiplier la course du piston, de manière à donner une levée suffisante, sans que le cylindre ait une longueur démesurée.

Pour affaler la charge, il suffit de mettre en communication les deux bouts du cylindre, de telle sorte que la même pression règne sur les deux faces du piston; on modère d'ailleurs le mouvement en étranglant les orifices de distribution. Le mouvement d'orientation s'obtient par des engrenages mus à bras.

Tel est le système désigné par M. Chrétien sous le nom de *grue à traction directe*. Il comporte certains détails intéressants. On peut sans doute lui reprocher de ne pas mettre en jeu l'action de la vapeur de la manière la plus économique; mais c'est là un inconvénient secondaire, eu égard à la faible quantité de puissance dynamique totale que développent, dans une journée, les appareils élévatoires, même lorsqu'ils sont puissants et qu'ils travaillent avec la plus grande activité. Le mérite incontestable des appareils en question, c'est leur grande simplicité : pas d'engrenages, pas de transmissions compliquées, pas de mécanismes exposés à des

avaries, une simple distribution à la main, par laquelle on peut faire agir à volonté la vapeur, soit comme moteur, soit comme frein. Telles sont les qualités qui ont contribué à répandre l'usage des grues de ce système.

Dans les grues à traction directe, la charge est suspendue sur la vapeur, ce fluide formant un ressort élastique, susceptible de se comprimer ou de s'étendre; le crochet de suspension n'est donc pas maintenu à une hauteur absolument fixe; il peut osciller, dans d'assez larges limites, autour d'une position moyenne, et même s'abaisser progressivement s'il y a des fuites de vapeur ou des condensations. Pour les manœuvres ordinaires, il n'y a là rien de bien fâcheux. Avec un peu d'habileté, le conducteur de la machine saura facilement parer à ce petit inconvénient. Mais il n'en est pas toujours de même : si les pièces à lever sont susceptibles de s'avarier par les chocs, si elles doivent être approchées lentement d'une position rigoureusement fixe, la suspension élastique n'est plus admissible. M. Brown s'est proposé de donner aux grues à traction directe une précision de manœuvre, qui est parfois indispensable. A cet effet, il conjugue invariablement le piston à vapeur avec un piston hydraulique, lequel agit comme un frein parfait, lorsqu'on étrangle ses orifices de distribution. Une grue de ce système était exposée par M. C. Guyenet, de Paris, et se faisait remarquer par ses bonnes dispositions et le bon agencement des divers organes.

D'autres machines élévatoires, combinées en vue de répondre à des conditions spéciales, figuraient également à l'Exposition. Citons, entre autres, un très bon et beau treuil roulant à manœuvres funiculaires, exposé par la maison Cail, Halot et Cie, de Bruxelles.

Mentionnons aussi un treuil suspendu, mû par courroies et manœuvré à distance au moyen de cordes; ce treuil, d'une bonne construction, était exposé par la maison Volney, W. Mason et Cie, de Providence, Rhode-Island (États-Unis).

Dans l'importante exposition de la maison Fonderia Oretea di Florio e Cia, de Palerme, on voyait le modèle au dixième d'une grue qui a servi à la construction du grand théâtre de Palerme. C'est

Gr. VI — Cl. 54.

une grue roulante à vapeur, à volée variable, pouvant élever, à une hauteur de 24 mètres, des poids de 8,000 kilogrammes; l'appareil devant être utilisé pour la pose des pierres de taille, le mouvement de descente est réglé par un frein hydraulique, analogue à celui de Brown.

MM. Thomas (J.-E.) et Cornet, de Bruxelles, présentaient le modèle d'un grand pont tournant, de 60 mètres de longueur, avec treuil à vapeur; cette installation remarquable est destinée à faire le service d'une carrière en exploitation.

MM. Priestmann frères, de Hull (Angleterre), exposaient un joli modèle de grue avec double cuiller mobile, pour décharger les grains, le sable et autres matières analogues.

L'appareil imaginé par MM. Renard et Delahaye a également pour objet la manutention des grains; mais il est fondé sur un principe tout différent, principe sinon tout à fait original, au moins appliqué avec une ingéniosité fort remarquable. Le grain est élevé par l'action d'un fort courant d'air. Que l'on imagine deux magasins, l'un inférieur, dans lequel le grain est approvisionné, l'autre supérieur, dans lequel le grain doit être élevé. Le magasin supérieur est constitué par une chambre fermée; de cette chambre descend un gros tube, dont l'extrémité inférieure vient aboutir tout près de la surface du grain à élever. La chambre supérieure est mise en communication avec un ventilateur, qui y produit une aspiration énergique; l'air aspiré pénètre par le bas du tuyau, en effleurant la surface du grain, qui se trouve saisi et entraîné par ce courant d'air violent, et se dépose dans la chambre supérieure.

Pour que l'appareil fonctionne convenablement, il est nécessaire que l'orifice inférieur du tube reste à une distance convenable de la surface du grain, surface constamment variable par le fait même de l'élévation. La partie de l'appareil qui réalise cette condition est assurément des plus intéressantes. Le bas du tube est mobile verticalement, et entoure comme une gaine le corps même du tuyau, en formant un joint très libre; ce manchon inférieur est suspendu par des cordons, qui passent sur des poulies et viennent se relier à un régulateur; ce régulateur est constitué par un piston,

qui se meut librement dans un cylindre, avec interposition d'une membrane en caoutchouc pour former joint. Il est réuni par un tube avec la conduite ascensionnelle; le vide produit par le ventilateur tend à faire baisser le piston et, par conséquent, à soulever le bas du tube; et, si les poids des divers organes sont bien calculés, il se produit un état d'équilibre, dans lequel l'orifice inférieur de la conduite se maintient au-dessus de la surface du grain précisément à la hauteur voulue pour produire le meilleur effet utile. L'appareil peut d'ailleurs être combiné de bien des manières; ainsi la chambre supérieure peut laisser écouler le grain au fur et à mesure qu'il s'accumule; on peut aussi utiliser pour l'ascension la puissance de refoulement du ventilateur, et faire servir le courant d'air au séchage du grain.

MM. Renard et Delahaye ont décoré leur appareil du nom d'*élévateur Renhaye*.

Dans le modèle exposé, une partie de la conduite ascensionnelle était en verre, et c'était un curieux spectacle que de suivre les oscillations du manchon inférieur et les mouvements des grains de blé, s'éboulant en forme de cône au pied du tuyau, et s'élançant sous l'impulsion du courant d'air, qui les emportait.

Sur la berge gauche de la Seine, en amont du pont d'Iéna, s'élevait une immense machine à mâter installée par MM. Bon et Lustremant, de Paris. Elle est destinée à faire le service du port de Saint-Nazaire; sa puissance est de 80 tonnes, sa hauteur de 24 mètres, la portée hors du quai de $7^{m},50$, et en dedans du quai, de $4^{m},50$. Ce bel et puissant engin se compose de trois mâts en fer, assemblés au sommet en forme de bigue; deux mâts formant chevalet roulent sur leurs pieds, comme sur une charnière; le troisième mât, formant contre-fiche, repose par son pied sur une longue glissière presque horizontale, au moyen d'un coussinet qui se déplace sous l'action d'une forte vis, mise en mouvement par la machine motrice de l'appareil. Cette construction hardie, bien établie, bien disposée, a été fort appréciée des gens du métier.

Il y aurait peut-être lieu de parler ici des élévateurs verticaux

Gr. VI. — Cl. 54.

à grande hauteur, tels que machines d'extraction, monte-charge, etc. Mais tous ces appareils se rapportent à des industries spéciales, et l'on en trouvera la description dans les rapports sur les mines, la métallurgie, la meunerie, etc. etc. Nous n'avons à parler ici que d'une classe toute spéciale de monte-charge, les *ascenseurs*, machines importantes, autant par leur nouveauté que par leur usage de plus en plus répandu, qui peut servir de caractéristique à certains côtés des mœurs de la société moderne.

Il n'y a pas bien longtemps que la mécanique est devenue une science vulgaire; naguère encore, aux yeux de bien des gens, une machine était un être mystérieux, doué d'une vie spéciale, animé par une force inconnue; on la regardait se mouvoir avec curiosité, on n'osait s'en approcher qu'avec une sorte de crainte superstitieuse, augmentée encore par le souvenir des accidents terribles qui ont signalé les essais des premiers mécaniciens.

En quelques années il s'est produit un grand changement: les chemins de fer d'abord et ensuite les expositions ont contribué dans une large mesure à acclimater chez nous ces puissances nouvelles, à familiariser le public avec leur contact et leur maniement. Et puis les nécessités mêmes de la vie actuelle, l'activité des relations sociales, les exigences d'une production industrielle plus intense, et même les besoins nouveaux de confort ou d'une existence plus facile, ont donné à ces tendances une très vive impulsion. La mécanique est entrée dans les usages de tous les jours. Réservée pendant longtemps aux grands établissements, elle a pénétré d'abord dans le modeste atelier de l'ouvrier en chambre, puis peu à peu elle s'est introduite dans la vie intérieure, dans la famille, dans le ménage, sous les formes les plus diverses, appelée par les besoins les plus variés; elle a ainsi gagné de chambre en chambre, d'étage en étage, à tel point que nos habitations modernes sont outillées et machinées comme de véritables usines.

C'est ainsi que, dans ces dernières années, les ascenseurs sont devenus fort communs, et qu'à Paris et dans les grandes villes, un grand nombre de maisons récemment construites en sont pourvues.

Les escaliers ordinaires sont, on ne peut le dissimuler, des moyens

de communication bien imparfaits; c'est une véritable fatigue que d'avoir à monter un grand nombre d'étages, fatigue d'autant plus malsaine que nos organes ne sont guère appropriés à ce genre d'exercice; les femmes surtout en sont parfois durement éprouvées; et ces inconvénients sont singulièrement aggravés, d'un côté par la hauteur de nos maisons, qui comportent d'année en année un plus grand nombre d'étages superposés, de l'autre par la multiplicité toujours croissante de nos relations sociales. Néanmoins, jusqu'à ces derniers temps, les communications verticales ne se faisaient que par les escaliers, et il en est résulté des conséquences bizarres dans l'aménagement des maisons d'habitation : les appartements de luxe, ceux qui se louent aux prix les plus élevés, ceux occupés par la classe riche et aisée, sont exclusivement confinés dans les étages inférieurs : ils sont ainsi privés de soleil, condamnés à tout jamais au demi-jour, et gratifiés, de première main, de la poussière, des bruits, du brouillard et des odeurs de la rue et des égouts. Les étages supérieurs sont abandonnés aux familles de fortune plus modeste, qui jouissent ainsi d'un air relativement pur et d'une lumière vive et saine, qui vivent dans des conditions hygiéniques bien préférables, mais qui se trouvent condamnées, elles et les amis qui les visitent, à une gymnastique fort malsaine.

L'installation d'ascenseurs dans les maisons nouvellement construites a ramené à cet égard un certain équilibre : les étages supérieurs ont repris quelque faveur, et les agréments qu'ils présentent commencent à être recherchés. Si ce mouvement n'est pas plus prononcé jusqu'à ce jour, c'est que l'usage des ascenseurs est encore bien récent.

C'est à l'Exposition de 1867 qu'ils ont fait leur première apparition : ils étaient mis à la disposition du public, et, moyennant une légère rétribution, ils transportaient les voyageurs au sommet de la galerie des machines. Ce fut une grande attraction, un véritable succès. Les hôtels de premier ordre, les grands magasins de nouveauté de Paris, s'emparèrent immédiatement du nouvel appareil, à la grande satisfaction de leur clientèle. L'introduction des ascenseurs dans les maisons particulières se fit plus lentement et avec une certaine réserve, par suite des conditions spéciales dans

Gr. VI. — Cl. 54.

lesquelles ces appareils étaient appelés à fonctionner, et auxquelles on n'a pu satisfaire qu'après d'assez longs tâtonnements.

Considérés au point de vue purement mécanique, les ascenseurs ont à élever une charge assez faible à une hauteur généralement considérable; les mouvements doivent se faire avec une sécurité complète; il faut en outre pouvoir, à volonté, arrêter la cabine qui contient la charge à la hauteur de n'importe quel étage. Jusque-là, rien de particulier, ce sont des questions qui se résolvent chaque jour dans toutes les usines. Les plus graves difficultés proviennent du caractère même du public qui fait usage des ascenseurs, public peu habitué aux mouvements mécaniques, inquiet, défiant, impressionnable, que le moindre bruit peut effrayer, et dont les terreurs irréfléchies peuvent changer en catastrophes les incidents les plus insignifiants. Pour communiquer à ce public la confiance qui lui manque, il est nécessaire que tous les mouvements se fassent avec la plus parfaite douceur, et dans un silence à peu près complet.

Dans les grands établissements, où le service de l'ascenseur est assez chargé, toutes les manœuvres sont faites par un surveillant spécial, qui ne quitte pas la cabine, accompagne les voyageurs, les guide, et au besoin les rassure par le fait seul de sa présence. Mais, pour les ascenseurs établis dans les maisons particulières, le problème se complique d'éléments nouveaux. Dans ce cas, l'appareil est manœuvré, non plus par un surveillant expérimenté, mais par les personnes qui se servent de l'ascenseur, et qui sont en général fort peu familiarisées avec les engins mécaniques. Ces manœuvres doivent donc se faire par des moyens très simples, pour que le premier venu puisse s'en tirer, sans qu'il y ait possibilité de méprise; il faut que le départ se produise sans effort, que l'arrêt à la hauteur précise de l'étage à atteindre ait lieu automatiquement, que les portes des cabines et celles des divers paliers s'ouvrent et, surtout, se ferment au moment voulu, sous peine de laisser béantes des ouvertures donnant sur le vide. Il y a là une série de conditions à remplir, d'une analyse assez délicate, et sur lesquelles s'est exercée, non sans succès, l'ingéniosité des constructeurs.

Dans les ascenseurs, dont les mouvements doivent être à la fois

faciles, rapides et précis, on a le plus souvent recours à la pression de l'eau comme force motrice. Les efforts à développer n'étant pas très considérables, une pression modérée est suffisante; aussi, lorsque c'est possible, on se contente de mettre la machine en relation avec une conduite ordinaire de distribution d'eau, ce qui simplifie beaucoup l'installation et l'entretien, en supprimant les inconvénients d'un moteur spécial et les embarras qui en sont la suite. Même dans le cas où l'on n'a pas à sa disposition de l'eau sous pression, on se sert d'une machine à vapeur, non pas pour actionner directement l'ascenseur, mais pour élever de l'eau dans un réservoir supérieur, d'où elle agit par sa pression.

La cabine dans laquelle se placent les voyageurs est équilibrée, ainsi que les pièces qui se meuvent avec elle, par des contrepoids suspendus à l'extrémité de chaînes, qui passent sur des poulies disposées dans le haut de la cage; un guidage très exact la dirige dans son mouvement vertical. Elle est mise en mouvement par un piston de presse hydraulique, soit directement, soit par l'intermédiaire de chaînes mouflées; le distributeur de l'eau en pression est manœuvré, soit par un long câble vertical, qui passe dans un angle de la cabine, soit par une tringle extérieure; deux saillies fixées à la cabine viennent, aux deux extrémités de la course, en contact avec des doigts, montés sur la tringle de manœuvre, et déterminent ainsi la fermeture du distributeur et, par conséquent, l'arrêt automatique; des verrous mobiles, fonctionnant d'une manière analogue, produisent l'arrêt aux étages intermédiaires; enfin des enclenchements, diversement disposés, assurent la fermeture et l'ouverture des portes au moment opportun.

C'est ainsi que sont constitués la plupart des ascenseurs.

Quelques constructeurs, pour assurer la sécurité d'une manière plus absolue, y ajoutent des parachutes, ayant pour objet de soutenir la cabine, en cas de rupture de quelque pièce; l'efficacité de ces dispositifs n'est pas parfaitement démontrée, et il semble que la véritable garantie doit être de préférence recherchée dans les bonnes dispositions et proportions des organes, et la qualité des matériaux mis en œuvre.

Nous avons vu que l'action du piston hydraulique est transmise

Gr. VI. — Cl. 54.

à la machine, soit directement, soit par l'intermédiaire de chaînes mouflées. De là deux systèmes d'ascenseurs, qui ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients.

Avec les chaînes mouflées, la course du piston est relativement courte, par conséquent la construction est assez simple; le cylindre moteur est tout entier au-dessus du sol, ce qui en facilite la visite et l'entretien, mais il est difficile d'obtenir un équilibre bien satisfaisant, car les poids des diverses chaînes s'ajoutent à celui de la cabine ou s'en retranchent, suivant que celle-ci est en bas ou en haut de sa course.

Dans les ascenseurs à action directe, la cabine est fixée sur la tête d'un piston plongeur, d'une longueur un peu supérieure à la course totale; ce piston pénètre dans un cylindre en fonte, lequel est lui-même placé dans un puits foré à la sonde et blindé. Toute cette construction est assurément plus chère, et la durée des pièces métalliques enfouies ainsi dans le sol, en dehors de toute surveillance, peut donner lieu à quelque inquiétude. Mais, d'autre part, la machine est plus simple dans son ensemble, et l'équilibre des divers organes est plus facile à maintenir, attendu que la diminution progressive de poids, qui se produit pendant le mouvement ascendant de la cabine, est compensée par l'émersion du piston plongeur. D'autre part, comme effet moral, il y a quelque chose de plus rassurant pour les voyageurs, à se sentir portés par une grosse colonne de fonte, que suspendus à une chaîne d'aspect assez frêle; il faut bien avouer cependant que, comme sécurité réelle, il n'y a pas d'avantage bien sérieux; le piston est trop long pour travailler efficacement à la charge de bout; en fait, il travaille à la traction sur la plus grande partie de sa longueur; les contrepoids doivent être ici assez lourds pour équilibrer le poids du piston, et si les chaînes venaient à se rompre, les voyageurs ne seraient guère moins maltraités dans ce système que dans l'autre.

Des ascenseurs avec chaîne mouflée étaient exposés par différentes maisons. L'ascenseur de M. Heurtebise, d'Auxerre, à côté de divers dispositifs bien entendus, présente un frein hydraulique,

constitué par un piston à deux diamètres, qui ferme le départ de l'eau quand la charge à la descente devient trop forte.

Dans l'ascenseur de MM. Lefèvre et Cie, de Lille, la transmission est opérée par des câbles métalliques, au moyen de poulies à plusieurs diamètres; un parachute, mordant sur une crémaillère verticale, arrête la descente en cas de rupture de l'une des pièces. L'ascenseur de M. Samain, de Blois, est également muni d'un frein de sûreté.

Citons encore les élévateurs de M. Freissler (A.), de Vienne (Autriche), et ceux de l'*Hydraulic engineering Company*, de Chester (Angleterre).

Les ascenseurs mus par un piston plongeur agissant directement sur la cabine étaient représentés à l'Exposition par deux immenses machines, aussi remarquables par la hardiesse de leur conception que par leur belle exécution. Nous voulons parler des ascenseurs installés dans les deux tours du Trocadéro. Des pistons de plus de 60 mètres de course, une charge nette de 4,000 kilogrammes, élevée en un temps très court à cette hauteur considérable, avec une régularité et une sécurité parfaites, une superficie occupée extrêmement étroite, ce sont là des conditions que l'on rencontre rarement réunies; et pour surmonter les difficultés sans nombre qu'elles entraînent, les constructeurs ont dû déployer une sûreté de vues et des connaissances techniques tout à fait exceptionnelles.

Malheureusement l'installation de ces ascenseurs a été beaucoup retardée par diverses circonstances, tout à fait étrangères du reste aux habiles ingénieurs qui les ont établis. Le montage était loin d'être terminé à l'époque où le jury a dû clore ses opérations; le règlement étant formel à l'égard des exposants en retard, aucune récompense n'a pu être attribuée à ces magnifiques engins. Le jury n'ayant pas eu à les examiner, ce n'est plus en son nom qu'il nous est permis d'en parler. Toutefois, il serait par trop regrettable de passer sous silence ces constructions, qui ont excité le plus vif intérêt, aussi bien dans le public que parmi les hommes compétents, et qui font le plus grand honneur à la mécanique française. Nous en donnerons donc une courte description.

Gr. VI. — Cl. 54.

L'un de ces ascenseurs a été construit par M. L. Édoux, de Paris, l'autre par MM. Bon et Lustremant, de Paris.

Les données numériques principales relatives à ces deux appareils sont rapportées dans le tableau ci-après :

	Ascenseur Édoux.	Ascenseur Bon et Lustremant.
Course de l'ascenseur	$62^{m},50$	$62^{m},50$
Charge mobile maxima à élever	$4,000^{k},00$	$4,000^{k},00$
Piston plongeur : diamètre extérieur	$0^{m},35$	$0^{m},40$
Cylindre à eau : diamètre intérieur	0 ,40	0 ,445
——— épaisseur	0 ,03	0 ,02
Réservoir de pression : hauteur du plan d'eau au-dessus du sol	75 ,00	62 ,50
Pression maxima de l'eau sur le plongeur (en kilogrammes par centimètre carré)	$13^{k},75$	$12^{k},50$
Longueur des côtés du carré circonscrit à la cage (d'axe en axe des colonnes-guides)	$2^{m},20$	$2^{m},20$

Ces deux ascenseurs étaient constitués, comme les ascenseurs ordinaires, par un long piston plongeur en fonte tournée, pénétrant, par un presse-étoupe, dans un cylindre également en fonte, et enfoncé dans le sous-sol; le puits qui recevait ce cylindre était blindé; il avait été foré au trépan, et traversait les vastes carrières qui s'étendent au-dessous des fondations du palais du Trocadéro.

La tête du piston était reliée à une cabine pouvant contenir environ 60 personnes. Le poids de la cabine, de la charge et de la plus grande partie du plongeur était équilibré par des contrepoids circulant dans les colonnes-guides, au moyen de chaînes passant sur des poulies de $2^{m},10$ seulement de diamètre. Dans l'ascenseur de MM. Bon et Lustremant, ces chaînes étaient de la forme dite *chaîne-élingue*, se rapprochant de la chaîne de Galles; dans l'ascenseur de M. Édoux, les chaînes étaient remplacées par des câbles plats en fil de fer, fabriqués à Angers, et doués d'une résistance et d'une flexibilité exceptionnelles.

L'eau sous pression était fournie par des réservoirs établis dans les combles des tours: l'eau d'échappement se rendait dans des

bâches, d'où elle était reprise par des pompes à vapeur, installées dans le sous-sol, et qui la renvoyaient aux réservoirs supérieurs. L'admission et l'échappement étaient produits par un distributeur, manœuvré de l'intérieur de la cabine.

La vitesse à la descente était modérée par un frein hydraulique spécial; c'était une valve automatique, qui fermait l'orifice de départ, aussitôt que l'eau y atteignait une vitesse déterminée.

Avant d'être mis en service, ces ascenseurs ont été soumis à des épreuves sévères; toutes les pièces ont été examinées avec soin et rigoureusement essayées.

De fait le fonctionnement a été irréprochable, et dans les derniers mois de l'Exposition, quelques centaines de milliers de voyageurs ont fait l'ascension sans qu'il se soit produit le moindre incident fâcheux.

CHAPITRE X.

MESURE DU TRAVAIL ET DE LA FORCE.

SECTION I.

APPAREILS DE PESAGE.

Sommaire. — Généralités. — Romaines suspendues. — Bascules et balances de Fairbanks, de la *Howe Scale Company*, de Trayvou, de Paupier, de Fagel, de Schember, de Wimmerlin, de Pouplier, de Knudsen, de Castrup, de Florenz, de Bailly et Roche, de Suc. — Pèse-grains d'Avanzi. — Bascule de Cossa. — Peson de Taurines. — Bascule enregistrante de Chameroy.

Des nombreux appareils de pesage qui figuraient à l'Exposition de 1878, une faible partie seulement rentrait dans le domaine de la mécanique générale. En effet, la classe 54 n'avait dans son ressort, ni les balances de précision, qui sont des instruments de recherche scientifique et ressortissent à la physique et à la chimie, ni les grandes bascules pour le pesage des wagons, ni celles destinées à contrôler le poids des colis ou des bagages, qui appartenaient les unes et les autres à la classe des chemins de fer; elle n'avait pas non plus à s'occuper des balances spéciales pour les monnaies, pour les tabacs, pour les denrées agricoles, etc.

Ce n'est donc guère que les balances communes, propres à tous les usages, que nous avons à étudier ici. La revue des appareils de pesage exposés dans la classe 54 sera donc très rapide.

Sans doute la construction des balances a fait des progrès réels dans ces dernières années. Plusieurs maisons importantes livrent au public de fort bonnes balances, répondant à toutes les conditions désirables d'exactitude, de commodité, de bas prix et de durée. Ces produits ont des mérites incontestables, et rendent les services les plus sérieux. Mais ces mérites ne sont nullement dus à

Gr. VI. — Cl. 54.

la découverte de principes nouveaux; ils résultent de soins attentifs apportés dans les procédés généraux de construction.

Un des faits les plus importants que nous ayons à signaler, c'est l'usage de plus en plus répandu des romaines suspendues, appliquées aux grues, treuils, ponts roulants et autres appareils de levage. La manipulation des fardeaux lourds est toujours assez coûteuse, et il y a une véritable économie à réunir en une seule les deux opérations de levage et de pesage. Ces romaines suspendues sont d'ailleurs d'une construction fort simple. Quelques industriels ont essayé de les remplacer par des pesons à ressort ou des pesons à pression hydraulique; mais jusqu'ici la romaine ordinaire, à simple ou à double levier, a généralement prévalu.

Lorsqu'il s'agit d'objets de grande consommation, dont la fabrication exige à la fois beaucoup de précision et beaucoup d'économie, il arrive souvent aujourd'hui que les manufacturiers américains l'emportent sur leurs concurrents de l'ancien continent. Nous avons eu plus d'une fois l'occasion de le constater : il serait puéril de vouloir fermer les yeux sur un état de choses incontestable; il vaut bien mieux au contraire que nos nationaux soient avertis de la concurrence qui les menace, afin qu'ils ne se laissent pas devancer par leurs rivaux.

C'est à deux maisons américaines qu'ont été attribuées les plus hautes récompenses accordées aux instruments de pesage. La maison E. et T. Fairbanks et Cie, de Saint-Johnsbury (Vermont), et la *Howe Scale Company,* de Rutland (Vermont), présentaient l'une et l'autre des expositions extrêmement intéressantes, comprenant les appareils de pesage les plus variés. Ces maisons fabriquent tous les types, depuis le pèse-lettres jusqu'à la grande bascule de chemin de fer. Ce qu'il y a de plus remarquable dans ces produits, c'est leur parfaite adaptation aux services qu'ils sont appelés à rendre, c'est l'étude scrupuleuse des besoins et des goûts de la clientèle, c'est le sens pratique, qui met chacun de ces instruments dans la main de celui qui doit s'en servir, et lui imprime un cachet très frappant d'originalité. Ces balances sont vendues à fort bon marché et leur construction est irréprochable. Il y aurait sans doute

à faire des études du plus grand intérêt, dans ces grandes manufactures américaines, sur l'organisation du travail qui permet de livrer des produits aussi parfaits dans d'aussi bonnes conditions.

Dans les bascules exposées par la *Howe Scale Company*, on remarque un dispositif ingénieux, ayant pour objet d'atténuer l'action destructive qu'exercent les charges roulantes : le plateau porte sur les couteaux par l'intermédiaire de sphères en acier, interposées entre deux plateaux en fonte, et qui reçoivent le premier effet des chocs transversaux.

La maison Trayvou (B.), de la Mulatière, près Lyon, présente une bonne et belle exposition d'appareils de pesage fort bien conçus et exécutés. On remarque, dans cette exposition, une bascule dite *romaine automatique*, qui indique immédiatement, au moyen d'une aiguille se mouvant sur un cadran, le poids des objets déposés sur le plateau. Voici comment ce résultat est obtenu (fig. 74) : Les oscillations verticales du plateau sont transmises, comme dans les bascules ordinaires, à une tige de traction principale G ; mais celle-ci, au lieu d'agir sur une romaine, se termine par un ruban d'acier H qui s'enroule sur un secteur F, qu'il tend à faire tourner autour de son axe E ; cette action est contre-balancée par un contrepoids M, suspendu à un second ruban d'acier L, lequel s'enroule sur une came K, fixée au même arbre que le secteur, et dont le tracé est convenablement étudié.

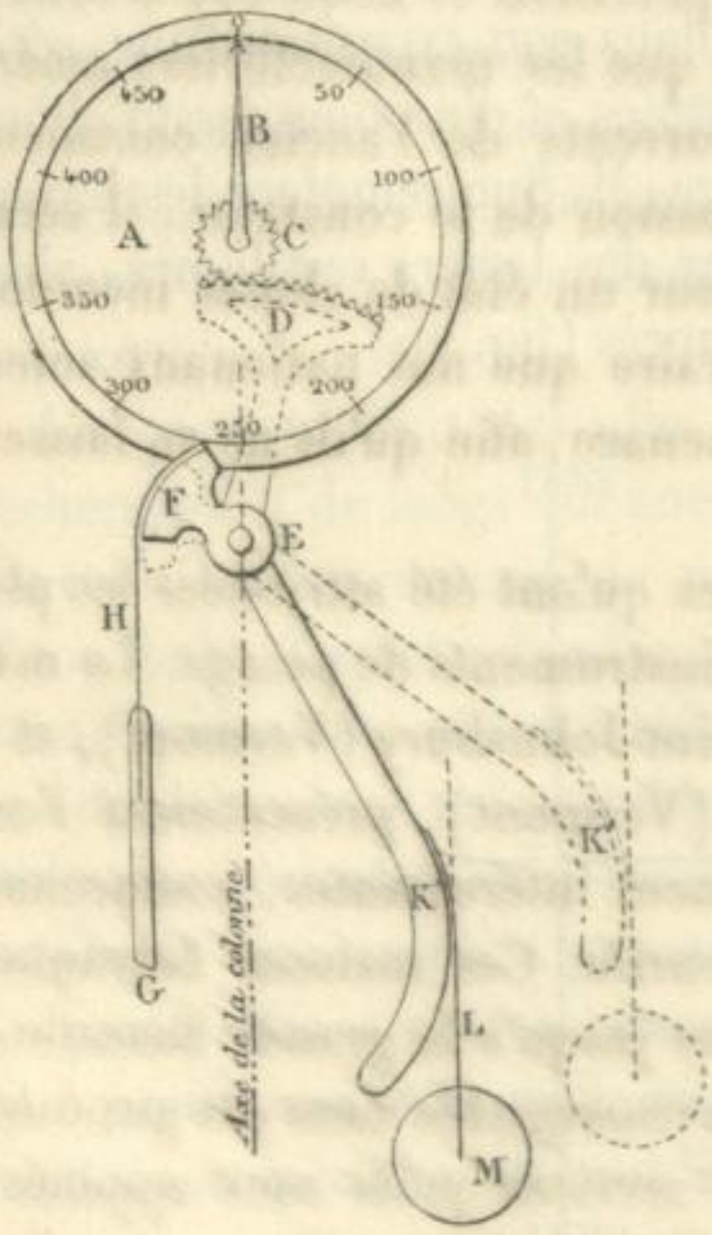


Fig. 74. — Machine automatique de Trayvou.

Le système du secteur et de la came tourne ainsi d'un angle proportionnel au poids déposé sur le plateau, et ces mouvements,

Gr. VI. — Cl. 54.

amplifiés au moyen d'un engrenage CD, sont reportés par une aiguille B sur un cadran A.

Citons encore les excellentes bascules, de toutes dimensions, exposées par M. L. Paupier, de Paris, celles de M. E. Fagel, de Bruxelles, les balances de MM. Schember et fils, de Vienne (Autriche), une balance système Roberval, perfectionnée avec beaucoup d'intelligence et exposée par M. Wimmerlin (J.), de Paris.

Rappelons enfin les fort bons produits présentés par MM. Pouplier et Cie, de Paris, Knudsen (C.) et Castrup, de Copenhague, Florenz (J.), de Vienne (Autriche).

MM. Bailly et Roche, de Reims, exposent une bascule à cadran, bien conçue et bien exécutée, d'un dessin fort simple, dans laquelle l'aiguille est fixe et le cadran mobile autour de son axe.

M. Suc (E.-A.), de Paris, avait dans son exposition une série complète de bascules de diverses portées et d'un bon dessin. Pour faciliter la construction et le montage, M. Suc remplace les leviers coudés, ordinairement en usage, par des leviers rectilignes, ainsi qu'il est indiqué dans le croquis ci-après (fig. 75).

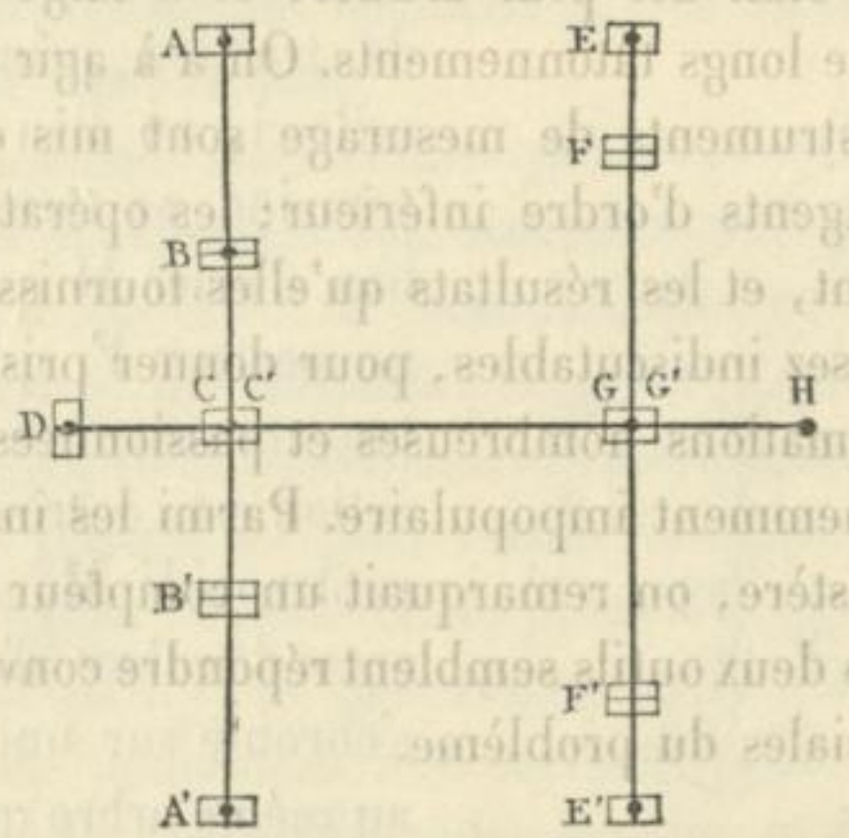


Fig. 75. — Bascule de Suc.

Les quatre leviers transversaux AC, A'C', EG, E'G', s'appuient, d'une part, par les quatre couteaux A, A', E, E', sur des points fixes

et, d'autre part, par les couteaux CC′, GG′, sur le grand levier DH; ce levier DH porte sur le point fixe D et sur la tige de traction H de la romaine; le plateau s'appuie sur les leviers transversaux par les couteaux BB′, FF′. Gr. VI. — Cl. 54.

Le point H s'élevant d'une petite quantité, le déplacement vertical de chacun de ces quatre points d'appui dépendra des proportions des différentes parties des leviers; par un calcul très simple, on détermine ces proportions, de telle sorte que les levées des quatre points d'appui B, B′, F et F′ soient égales; dès lors, le plateau reste horizontal dans tous ses mouvements, et les indications de l'instrument sont correctes et indépendantes de la position de la charge sur le plateau.

A côté des expositions installées par les grandes fabriques d'instruments de pesage, on remarquait quelques dispositifs nouveaux qu'il est intéressant de rappeler.

Le Ministère des finances d'Italie fait figurer, dans son exposition, les procédés les plus perfectionnés que l'administration a mis en œuvre, pour exercer d'une manière équitable l'impôt sur la mouture.

La question était des plus ardues, et a exigé de nombreuses recherches et de longs tâtonnements. On a à agir sur une échelle énorme; les instruments de mesurage sont mis entre les mains d'une foule d'agents d'ordre inférieur; les opérations doivent se faire rapidement, et les résultats qu'elles fournissent doivent être assez précis, assez indiscutables, pour donner prise le moins possible aux réclamations nombreuses et passionnées qu'a soulevées cet impôt éminemment impopulaire. Parmi les instruments exposés par le Ministère, on remarquait un compteur de tours et un pèse-grains; ces deux outils semblent répondre convenablement aux conditions spéciales du problème.

Voici une bascule assez curieuse par la nouveauté du principe sur lequel elle repose. Elle est exposée par M. Nathan David, de Londres, et a été imaginée par M. Cossa (fig. 76).

Le plateau A forme le côté supérieur d'un parallélogramme

Gr. VI. — Cl. 54.

articulé, dont les deux côtés obliques B, C, sont constitués par de petites bielles, armées de couteaux à leurs extrémités; l'une de ces bielles B fait corps avec un levier horizontal D, sur l'extrémité duquel agit la tige de traction de la romaine. Le tablier restant toujours horizontal dans ces oscillations, le poids constaté est indépendant de la position de la charge. C'est là une des conditions fondamentales auxquelles toute bascule doit satisfaire; malheureusement ce n'est pas la seule; et les autres conditions nécessaires pour avoir des pesées correctes ne sont ici nullement satisfaites.

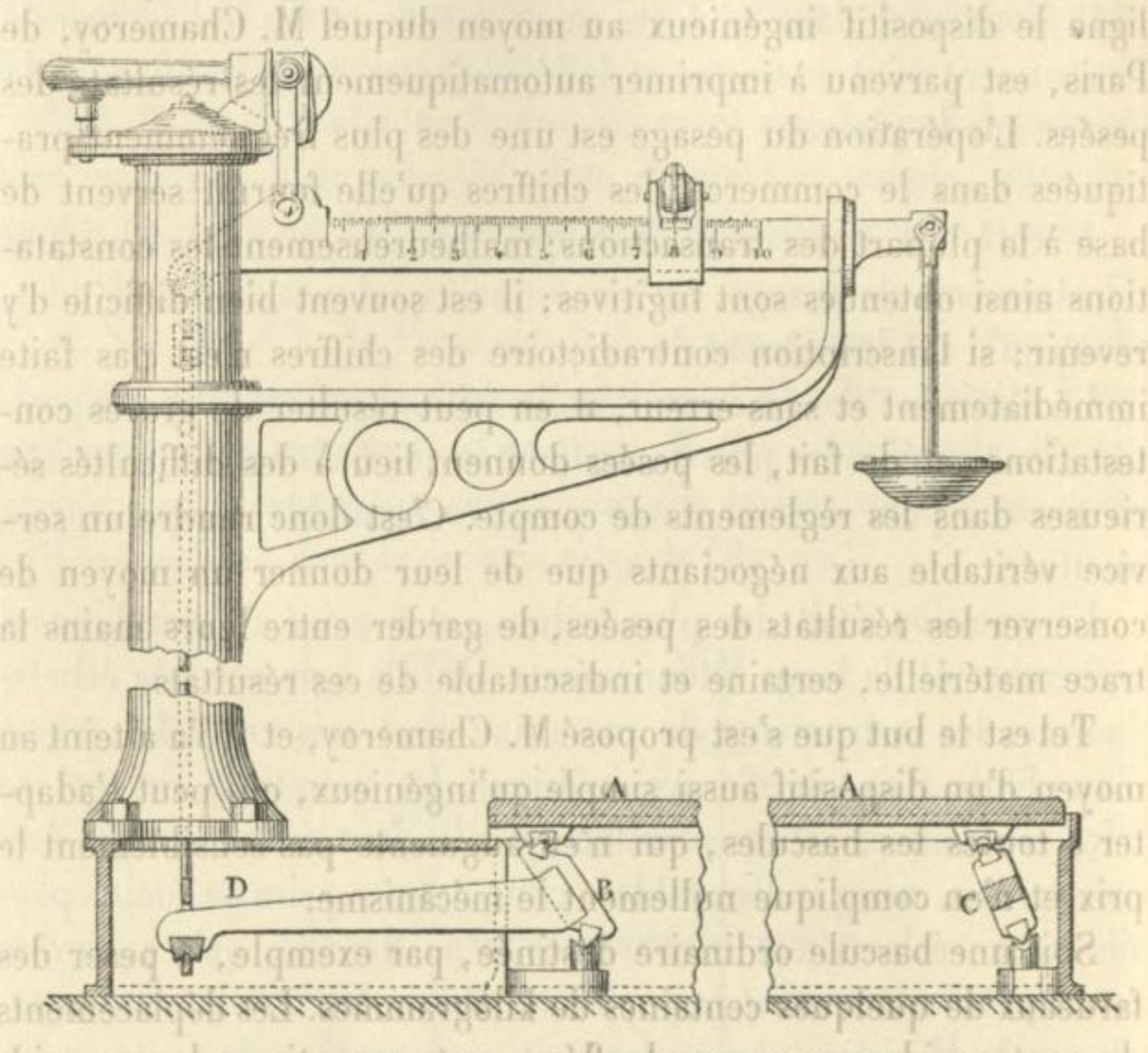


Fig. 76. — Bascule de Cossa.

Il est clair, par exemple, qu'un léger allongement dans la tige de traction de la romaine suffira pour altérer gravement tous les rapports, que la fraude est on ne peut plus facile et le contrôle impossible.

Telle qu'elle est présentée, cette bascule est un mauvais outil. Mais l'idée d'appliquer le parallélogramme aux mouvements du

tablier est nouvelle et ingénieuse; mieux appliquée, elle pourrait peut-être conduire à des résultats utiles. Gr. VI. — Cl. 54.

M. Jaspar (J.), de Liège, expose des pesons à ressort du système Taurines, de grande puissance, fort bien exécutés et suffisamment précis.

Parmi les rares innovations que l'on rencontrait dans l'exposition des instruments de pesage, il convient de citer en première ligne le dispositif ingénieux au moyen duquel M. Chameroy, de Paris, est parvenu à imprimer automatiquement les résultats des pesées. L'opération du pesage est une des plus fréquemment pratiquées dans le commerce; les chiffres qu'elle fournit servent de base à la plupart des transactions; malheureusement les constatations ainsi obtenues sont fugitives; il est souvent bien difficile d'y revenir; si l'inscription contradictoire des chiffres n'est pas faite immédiatement et sans erreur, il en peut résulter de graves contestations; et de fait, les pesées donnent lieu à des difficultés sérieuses dans les règlements de compte. C'est donc rendre un service véritable aux négociants que de leur donner un moyen de conserver les résultats des pesées, de garder entre leurs mains la trace matérielle, certaine et indiscutable de ces résultats.

Tel est le but que s'est proposé M. Chameroy, et il l'a atteint au moyen d'un dispositif aussi simple qu'ingénieux, qui peut s'adapter à toutes les bascules, qui n'en augmente pas sensiblement le prix et n'en complique nullement le mécanisme.

Soit une bascule ordinaire destinée, par exemple, à peser des fardeaux de quelques centaines de kilogrammes. Les déplacements du contrepoids curseur sur le fléau sont proportionnels aux poids à constater; une fois l'équilibre établi, il suffit d'enregistrer ces déplacements, pour obtenir l'inscription du poids. A cet effet, le dessous du fléau est muni de chiffres en saillie, qui viennent s'imprimer à sec sur un ticket que l'on glisse en dessous. Pour compléter l'approximation fort grossière ainsi obtenue, M. Chameroy a recours à un artifice fréquemment employé dans la balancerie : le contrepoids principal est arrêté, par des encoches pratiquées

Gr. VI. — Cl. 54.

sur le fléau, en des positions correspondant à des nombres entiers de 100 kilogrammes; la fraction complémentaire est obtenue par le déplacement d'un contrepoids accessoire, ayant la forme d'une réglette, qui coulisse dans le contrepoids principal; cette réglette porte en saillie, sur sa tranche inférieure, les chiffres des dizaines de kilogrammes. Les déplacements fractionnaires de la réglette, qui s'impriment sur le ticket en même temps que les chiffres des centaines et des dizaines de kilogrammes, servent à apprécier les unités et les dixièmes.

Le système de M. Chameroy est représenté dans les figures ci-après (fig. 77):

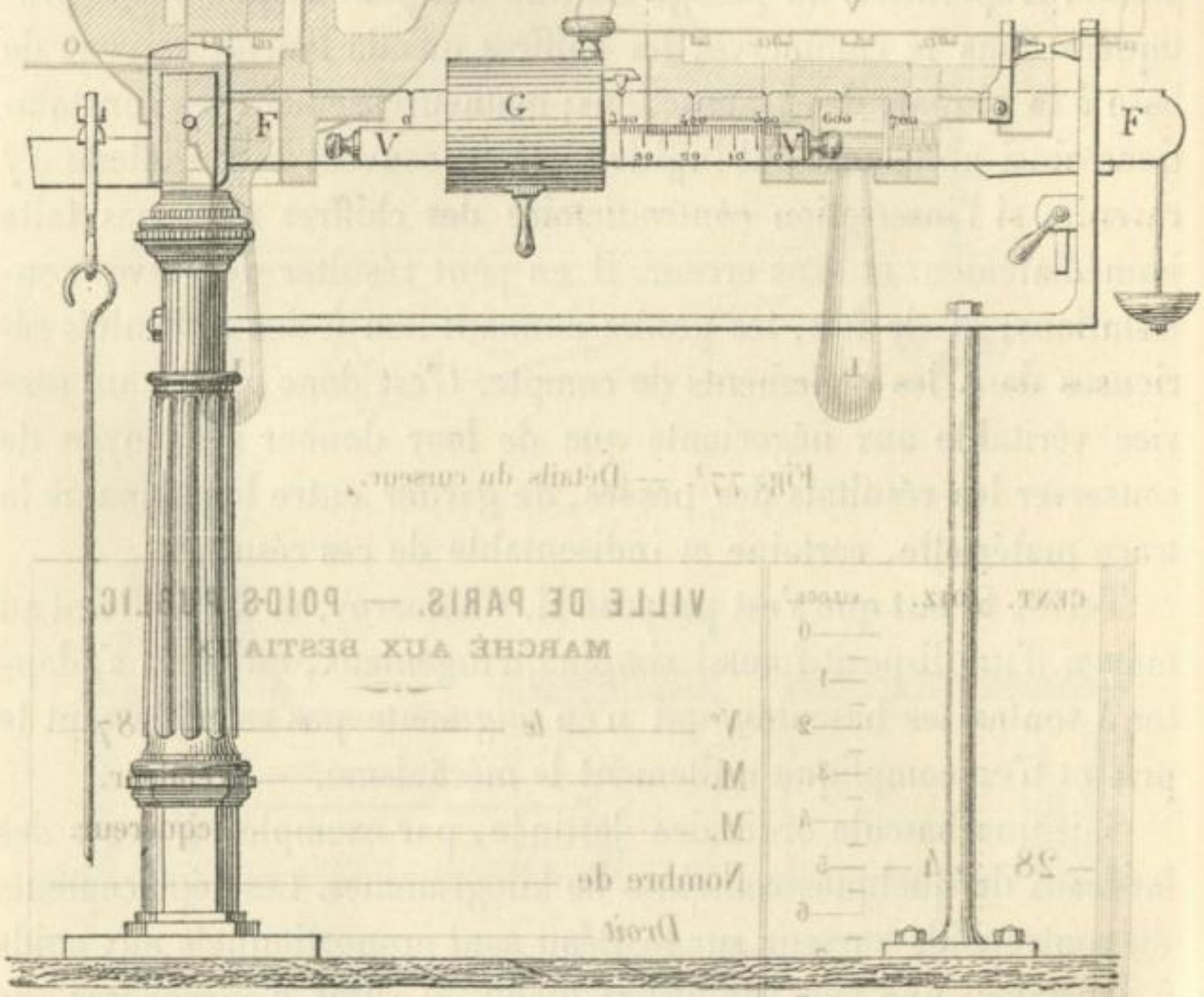


Fig. 77. — Bascule Chameroy.

FF, fléau;

G, contrepoids curseur principal;

VV, réglette;

aa, chiffres en saillie sous le fléau et sous la réglette;

b, touche d'arrêt avec languette-ressort, qui vient mordre dans

des encoches équidistantes du fléau, et arrête le curseur aux positions correspondant aux nombres entiers de centaines de kilogrammes;

o, fente pour introduire le ticket;

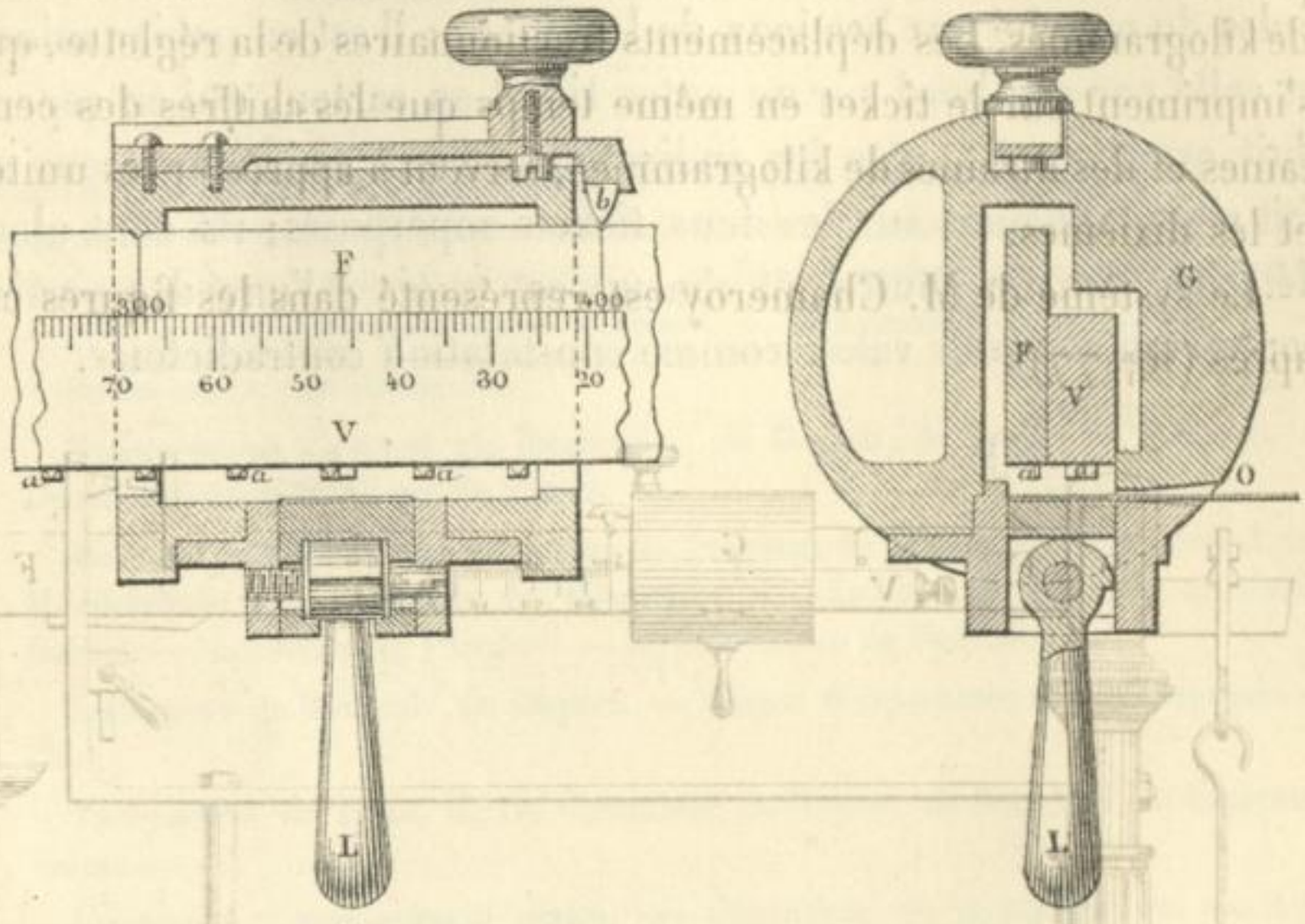


Fig. 77². — Détails du curseur.

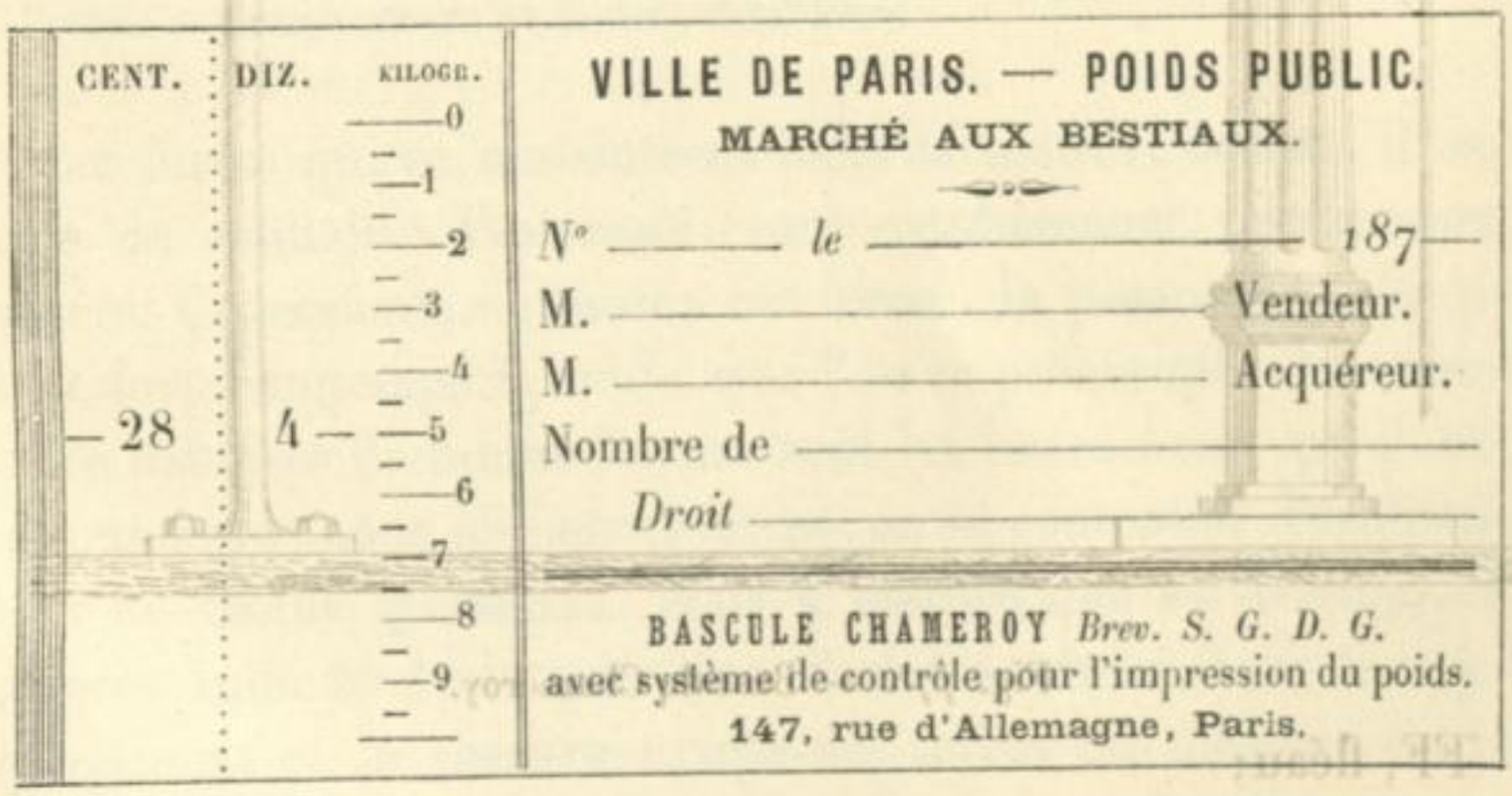


Fig. 77³. — Modèle de ticket.

L, levier avec excentrique, servant à appuyer le ticket contre les caractères en saillie.

Gr. VI. — Cl. 54.

On voit, en dessous, le modèle d'un ticket; le poids qui y est inscrit est de 28 centaines, 4 dizaines et 5 unités, soit 2,845 kilogrammes. La composition des tickets varie d'ailleurs suivant l'usage auquel ils sont destinés. Le ticket reproduit ci-contre a pour objet spécial de constater les pesées faites à l'une des bascules du marché aux bestiaux de la Villette; il est en papier mince et collé par son bord sur un autre ticket en carton, qui en reproduit exactement toutes les indications; l'impression en creux se fait simultanément sur les deux tickets superposés; ils sont alors détachés l'un de l'autre, et chacun est remis à l'une des parties contractantes, pour valoir comme constatation contradictoire.

SECTION II.

DYNAMOMÈTRES, COMPTEURS, INDICATEURS.

Sommaire. — Objet de la présente section. — Mesure des forces statiques. — Mesure des forces variables. — Diagramme des efforts. — Indicateur de Watt. — Méthode de l'enregistrement automatique. — Études modernes sur les diagrammes. — Autres méthodes pour mesurer le travail. — Dynamomètres de rotation.

Principaux appareils exposés.

Dynamomètres à ressort de Desbordes, de Digeon, de Berg, de Taurines. — Dynamomètre hydraulique de Florio.

Machines pour l'essai des matériaux de Trayvou, de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. — Appareils de Thomasset. — Machines de Chauvin et Marin-Darbel. — Appareils de Paupier. — Dynamomètre de Perreaux.

Indicateurs de Richards, de Deprez. — Wagon d'expérience de la Compagnie de l'Est.

Tachymètres de Buss, de Du Colombier, de Napier, de Bourdon. — Compteur Valessie.

Compteurs et enregistreurs divers. — Contrôleur de la marche des trains de Guébhard et Tronchon, de Brunet. — Compteurs de tours de Garnier, de Deschiens, de Legrand et Sutcliff. — Mesure à rubans de Ferret. — Compteur de caisse de Pottin. — Comparateurs de Manet, d'Askenasy.

Les forces qui se rencontrent dans la nature, et dont il serait utile de connaître l'intensité, sont extrêmement nombreuses et variées. Cependant, de toutes ces forces, la pesanteur a été pendant fort longtemps la seule que l'on se préoccupât de mesurer, et les balances de toutes formes sont les instruments qui donnent cette mesure; pour les autres forces, on se contentait d'évaluations plus ou moins grossières. Mais à mesure que se développait le progrès industriel, la précision s'est introduite dans toutes les opérations, et la mesure exacte des forces est devenue de jour en jour plus nécessaire. C'est là, sans aucun doute, un mouvement qui ne fait que commencer, mais il a pris dans ces dernières années une grande activité, à laquelle l'Exposition de 1878 empruntait un de ses caractères les plus distinctifs; jamais jus-

Gr. VI. — Cl. 54.

qu'alors on n'avait vu réunie une aussi riche collection d'instruments destinés à la mesure de la force et du travail. L'examen de cette partie importante de l'exposition des machines fait l'objet de la présente section.

Lorsqu'il ne s'agit que des forces à l'état statique, les appareils ayant pour objet leur mesure sont en général assez simples, ce sont les *dynamomètres* ordinaires. Même dans ce cas élémentaire, l'opération ne laisse pas que d'offrir des difficultés sérieuses, quand les efforts à mesurer sont considérables; si l'on a par exemple à établir des dynamomètres de 100 tonnes, comme nous en verrons des exemples, pour que ces grands appareils fonctionnent avec la précision voulue et donnent des résultats corrects, il faut mettre en œuvre les ressources les plus puissantes et les plus délicates de l'art des constructions. Mais le problème est bien autrement ardu lorsque l'on a à mesurer des forces rapidement variables, telles que celles qui se développent dans le jeu des machines en mouvement. On se heurte alors à des difficultés tellement grandes, qu'elles défient le plus souvent tous les efforts; ces difficultés n'ont pu jusqu'ici être surmontées que dans des cas tout à fait particuliers, et par des procédés fort détournés.

L'étude expérimentale des fonctions d'une machine n'est complète qu'autant que l'on possède des notions précises sur les forces qui se développent à chaque instant de la marche, et dans chaque position géométrique des organes. Ces notions se traduisent matériellement par le tracé d'une courbe ou *diagramme*, ayant comme ordonnée l'intensité variable de la force à mesurer (ou une variable dépendant immédiatement de cette intensité), et comme abscisse, soit le temps, soit le déplacement de l'un des points du système en expérience, soit la vitesse de ce point, soit toute autre fonction plus ou moins immédiate de l'une ou de l'autre de ces variables. Le tracé d'un diagramme implique nécessairement la mesure continue et simultanée de deux grandeurs : la force d'une part, et, d'autre part, la fonction, quelle qu'elle soit, qui doit être portée en abscisse.

Lorsque les coordonnées inscrites sont la force et le dépla-

cement du point d'application suivant la direction de cette force, la simple quadrature du diagramme ainsi obtenu donne, sans autre calcul, une quantité qui joue un rôle capital dans les recherches de mécanique, à savoir : le *travail* développé par la force.

C'est James Watt qui, au siècle dernier, sut le premier discerner nettement ces principes, et en faire une application aussi pratique qu'ingénieuse, pour mesurer le travail que fournissaient ses machines à vapeur. L'*indicateur de Watt* est un petit piston, recevant sur l'une de ses faces la pression de la vapeur dans le cylindre, et sur l'autre face, la pression d'un ressort; la masse des pièces mobiles étant très petite, il y a constamment équilibre entre ces deux forces antagonistes; la flexion du ressort peut donc servir de mesure à la pression de la vapeur, dont l'intensité est proportionnelle aux déplacements du piston de l'indicateur. On peut ainsi noter la pression correspondant à chacune des positions du piston de la machine, et par conséquent tracer le *diagramme* des pressions.

Mais Watt ne s'en est pas tenu là; quoique le mouvement de ses machines fût assez lent, l'observation des positions simultanées des pistons de l'indicateur et de la machine était pratiquement impossible. Il imagina de faire écrire le diagramme par l'appareil lui-même; à cet effet, il attacha à la tige du piston de l'indicateur un crayon qui traçait une courbe sur une feuille de papier, laquelle recevait un mouvement transversal proportionnel à celui du piston de la machine.

Cet enregistrement automatique des conditions successives d'un phénomène constituait un procédé nouveau d'observation, d'une généralité et d'une fécondité merveilleuses. Reprise et développée, il y a près d'un demi-siècle, par le général Morin, et appliquée par lui à ses belles expériences dynamométriques, cette méthode a pris, surtout depuis un petit nombre d'années, une extension et une importance considérables dans toutes les sciences d'observation ou expérimentales; sa précision et sa délicatesse sont telles, qu'on peut ainsi scruter dans leurs moindres détails des phénomènes qui auraient sans doute échappé à tout autre moyen d'investigation. Citons, entre des centaines d'autres, l'étude des pressions des gaz de la poudre et celle des mouvements des projectiles

Gr. VI. — Cl. 54.

dans les armes de guerre, la dissection des ondes sonores produites par la parole humaine, etc. etc., et, dans un autre ordre d'idées, l'inscription automatique du mouvement des marées et des phénomènes météorologiques.

L'indicateur de Watt, tel qu'il fut mis en usage par son illustre inventeur, n'avait d'autre objet que la mesure du travail développé par les machines à vapeur. Le calcul du diagramme se faisait, comme nous l'avons vu, par une simple intégration de l'aire du diagramme. Le chiffre ainsi obtenu servait de base aux règlements de compte entre Watt et ses contractants; c'était un renseignement d'ordre commercial.

Mais la courbe tracée par l'indicateur, lorsqu'elle est examinée avec attention, fournit en outre des données d'une grande valeur, qui permettent d'étudier en détail les phénomènes qui se passent dans le cylindre des machines à vapeur, d'en pénétrer le jeu et la nature intime. C'est à ce genre de recherches que se sont adonnés les expérimentateurs de Mulhouse, sous la direction de l'éminent physicien Hirn; c'est ainsi qu'ils ont pu écarter définitivement l'ancienne et grossière hypothèse, qui assimilait la vapeur d'eau, dans son action mécanique, à un gaz permanent, et y substituer une théorie rationnelle de la machine à vapeur, fondée sur des observations précises, et ne renfermant plus rien d'hypothétique.

Ce n'est pas tout; l'étude des diagrammes fournit encore des indications d'une haute importance au point de vue du bon emploi et de l'économie de la vapeur; elle décèle immédiatement les irrégularités et les incorrections de la distribution, les fautes commises dans la construction des lumières, les fuites qui se produisent à travers les joints, et elle donne le plus souvent les moyens d'y porter remède et d'améliorer le rendement des moteurs.

La mesure des pressions sur le piston d'une machine à vapeur et du travail qu'elles développent pendant la durée d'une révolution est donnée d'une manière complète par l'indicateur de Watt; ce problème restreint peut être considéré comme entièrement résolu. Mais là se bornent les renseignements que peut fournir l'ap-

pareil; d'une part, il cesse d'être applicable à tout autre moteur que ceux mis en action par un fluide pressant sur un piston; d'autre part, même pour les machines à vapeur, il ne donne que le travail sur le piston, le travail *indiqué*, et non pas le travail réellement disponible, soit sur l'arbre, soit en un point quelconque de la transmission. Et en effet, dans le chiffre déduit des diagrammes, n'entre en aucune façon le travail, ordinairement considérable, qui est absorbé par les frottements et les résistances passives des organes qui transmettent la puissance.

La mesure du travail effectivement disponible, lorsqu'il s'agit de la prendre sur un arbre animé d'un mouvement de rotation, quel que soit d'ailleurs le moteur qui l'actionne, est effectuée au moyen du *frein dynamométrique de Prony*. Le principe de cet appareil est fort simple: on oppose à l'action motrice une résistance qui lui fasse équilibre et que l'on puisse facilement évaluer; cette résistance, c'est le frottement d'un sabot de frein, dont on augmente le serrage jusqu'à soulever un poids dont le bras de levier est connu. L'autre facteur du travail, le chemin parcouru, est précisément égal, pour une révolution de l'arbre, à la circonférence de la poulie sur laquelle frotte le sabot.

L'expérience au frein de Prony donne exactement le travail recueilli sur la poulie à laquelle il a été adapté. Ce travail est entièrement absorbé par le frottement; aussi cette méthode peu économique, qui consiste à sacrifier le travail que l'on a à mesurer, ne peut-elle être employée qu'avec discrétion. On s'en sert uniquement pour tarer la puissance du moteur à une ou plusieurs allures déterminées. La table de tarage ainsi dressée permet d'évaluer à peu près la puissance consommée utilement en marche industrielle, chaque fois que les mêmes conditions d'allure du moteur et de graissage de la transmission viennent approximativement à se reproduire. A ce point de vue, le frein de Prony est fort inférieur à l'indicateur de Watt, avec lequel on peut prendre des diagrammes en aussi grand nombre que l'on veut, et sans interrompre la marche des opérateurs actionnés par le moteur en expérience.

Gr. VI. — Cl. 54.

Ces deux instruments : le frein de Prony et l'indicateur de Watt, qui donnent chacun une solution satisfaisante d'un problème particulier, deviennent malheureusement insuffisants devant le problème général de la mesure du travail, problème dont l'énoncé peut se formuler ainsi : étant donné un système mécanique, mis en mouvement par un ou plusieurs moteurs, et actionnant un nombre plus ou moins grand d'opérateurs au moyen d'une transmission, mesurer le travail qui passe dans un temps donné en différents points donnés de cette transmission.

Une solution réellement pratique de ce problème aurait un intérêt considérable; elle permettrait d'élucider un grand nombre de questions de mécanique industrielle, qui sont restées jusqu'à ce jour enveloppées d'une obscurité profonde; ainsi on n'a encore que des notions très vagues sur la quantité de puissance qu'absorbent les résistances passives dans les transmissions des usines; on ignore ce que prennent de force motrice les différentes machines-outils employées dans les ateliers, etc. : de là des fausses manœuvres, des mécomptes, des dépenses exagérées ou des économies ruineuses.

Que l'on nous permette, pour préciser les choses, de faire appel à quelques exemples.

Dans plusieurs localités, des industriels vendent de la force motrice au détail; un moteur est établi au centre d'une cité ouvrière, et envoie par transmissions la force mécanique dans les différents ateliers, combinaison aussi économique que morale, qui laisse à l'ouvrier toute la responsabilité du travail individuel, tout le bénéfice de son activité, en lui épargnant les dépenses élevées et les embarras de toute nature qu'entraînent les petits moteurs.

La machine motrice centrale est, dans certains cas, d'une grande puissance. Citons la distribution établie dans les divers quartiers de Schaffouse, et qui est mue par trois turbines, établies sur le Rhin et d'une force de 600 chevaux. A Bellegarde, la chute du Rhône donne une force de près de 10,000 chevaux-vapeur, qui doit être distribuée à grande distance par des câbles en fil de fer. Dans plusieurs des quartiers industriels de Paris, de nombreux

logements sont loués avec la force motrice, transmise par arbres de couche et courroies. La location se fait généralement à tant par cheval et par an. Eh bien, il n'existe jusqu'à présent aucun moyen pratique de savoir ce que prend de force chaque locataire; la base essentielle du marché fait absolument défaut; la redevance s'établit, par à peu près, à vue d'œil, sans règle précise.

Le travail mécanique est pourtant fort cher à produire; pour que les transactions sur cette denrée précieuse pussent s'établir équitablement et loyalement, pour que ce genre de marchés prît une large extension, en rapport avec les immenses avantages qu'ils permettraient de réaliser dans la production industrielle, il faudrait que vendeur et acheteur pussent mesurer la marchandise livrée, il faudrait que l'on possédât des compteurs de travail aussi simples, aussi exacts que les compteurs pour le gaz d'éclairage.

La question a été mainte fois posée et mise au concours par les associations scientifiques ou industrielles; bien des efforts ont été tentés pour la résoudre; elle est demeurée jusqu'ici sans solution réellement pratique. Le dynamomètre de rotation, qu'il tire ses indications de la flexion d'un ressort, de la torsion élastique d'un arbre, de la pression d'un fluide, qu'il inscrive ses résultats sur un papier enregistrant ou sur les cadrans d'un compteur, le dynamomètre de rotation n'a pas encore été établi de telle sorte qu'il pût entrer dans les usages courants; il est resté à l'état d'instrument de cabinet; il ne donne de résultats corrects qu'entre les mains des savants et des expérimentateurs. Il y a là une lacune considérable dans notre outillage mécanique, lacune qu'il nous a paru nécessaire de signaler.

Après ces considérations générales, nous allons passer en revue les principaux appareils qui figuraient à l'Exposition.

Procédant du simple au composé, nous examinerons d'abord les instruments ayant pour objet la mesure des forces statiques, puis ceux destinés à la mesure des forces variables et du travail. A la suite nous étudierons divers instruments de mesure en usage dans la mécanique pratique : les compteurs de tours et autres, les appareils à mesurer la vitesse, etc.

Gr. VI. — Cl. 54.

Les dynamomètres à ressort ordinaires étaient représentés à l'Exposition par un certain nombre de spécimens. Il y avait notamment des pesons de bonne construction, exposés par M. L. Desbordes, de Paris, et par M. Digeon (J.), de Paris; M. Berg (V.-J.), de Copenhague, exposait un dynamomètre de traction, avec enregistrement automatique, fort bien conçu et exécuté. Nous avons déjà eu occasion de signaler les balances à ressort système Taurines, exposées par M. J. Jaspar, de Liège. Dans l'exposition de la *Fonderia Oretea di Florio*, de Palerme, on voyait un peson hydraulique, dans lequel le poids du fardeau soulevé était mesuré par la hauteur d'une colonne liquide, système de mesure peu délicat, il est vrai, mais qui peut rendre des services dans certains cas, et que nous allons d'ailleurs retrouver, développé et amélioré, dans les grands appareils construits pour l'essai des métaux.

Si, depuis dix ans, la fabrication de l'acier a fait des progrès énormes, si l'acier tend à se substituer au fer dans la plupart de ses applications, si les maîtres de forge sont arrivés aujourd'hui à donner à ce métal, avec une rigueur parfaite, les qualités de résistance, de dureté, d'allongement qui sont demandées pour chaque emploi déterminé, ces magnifiques résultats, réalisés dans un temps si court, sont dus en grande partie à l'introduction dans la métallurgie de méthodes précises de mesure et de contrôle. Toute fabrique d'acier bien montée comporte aujourd'hui un laboratoire d'analyse chimique, où les dosages se font par les procédés les plus exacts que fournisse la science, et un laboratoire d'essais mécaniques, muni d'instruments, qui réunissent une précision égale à celle des appareils les plus parfaits dont font usage les physiciens, avec une puissance inconnue jusqu'à nos jours; les pesées se font couramment avec une exactitude de $\frac{1}{10\,000}$; les allongements se mesurent au centième de millimètre. Disons que les établissements du Creusot et de Terre-Noire ont inauguré les premiers cette voie de la précision rigoureuse, dans l'étude et la classification de leurs produits, et qu'ils y ont été suivis par tous les maîtres de forge de France et de l'étranger.

Des usines métallurgiques, l'usage des instruments exacts de

mesure s'est étendu aux grands consommateurs de métaux. La plupart des compagnies de chemins de fer, les grands constructeurs, les ateliers de la marine, ont leur laboratoire d'essai, où sont contrôlées les qualités des marchandises reçues, où l'on vérifie la résistance des divers organes, où l'on étudie le détail des dimensions, des formes des pièces de machine, ainsi que les qualités à demander aux matériaux dont elles sont composées.

Les dynamomètres pour essais de matériaux sont donc aujourd'hui fort répandus, et ce genre d'appareils, qui figurait à peine par quelques spécimens rudimentaires aux expositions précédentes, était représenté à l'Exposition de 1878 par une riche collection de machines, aussi remarquables par leur puissance que par leur belle construction.

Outre les essais sur l'enclume, dont nous n'avons pas à nous occuper, les métaux s'essayent à la traction, à la compression, à la flexion et à la torsion.

Pour ne pas compliquer les explications, nous parlerons surtout des essais à la traction, qui sont les plus en usage.

Pour faire ces essais, on taille une barrette du métal à essayer, suivant un gabarit bien déterminé; on la saisit par ses extrémités au moyen de boulons ou de mâchoires; l'un des bouts de l'échantillon est fixé à une presse permettant d'exercer une traction énergique; l'autre bout est attaché à une romaine, au moyen de laquelle on mesure les efforts. Par une combinaison convenable d'étriers et autres accessoires, on peut le plus souvent utiliser les mêmes machines pour les essais à la flexion et à la compression.

La machine d'essai exposée par M. B. Trayvou, constructeur à la Mulatière, près Lyon, peut produire et mesurer des efforts allant jusqu'à 40,000 kilogrammes. Elle est verticale; la presse, placée dans le bas, est à vis; une série de leviers, disposés dans le haut, amplifient les déplacements de la mâchoire supérieure, et les renvoient, par une tringle de tirage, à une romaine latérale. Cette machine est bien construite et solidement établie.

On voyait, dans la classe des chemins de fer, les dessins de

Gr. VI. — Cl. 54.

deux grandes machines d'essai qui fonctionnent dans les ateliers de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. L'une est une machine verticale et sert à faire les épreuves sur des barrettes d'échantillon; l'autre est horizontale; elle présente une longueur de banc de plus de 30 mètres, et sert à l'essai des chaînes, cordages et autres pièces de grande longueur. Dans ces deux machines, la traction est obtenue par pression hydraulique, et mesurée par un système de leviers avec romaine. La puissance est de 100 tonnes, et les pesées se font avec une erreur de moins de 10 kilogrammes; les allongements sont mesurés au moyen de cathétomètres, donnant le centième et le millième de millimètre.

Dans les machines précédentes, la mesure de l'effort se fait au moyen du déplacement d'un contrepoids sur un balancier, l'action de ce poids étant multipliée par une transmission, composée de leviers armés de couteaux. Ce système n'est pas à l'abri de toute objection: le contrepoids, pour être maniable, est nécessairement beaucoup plus petit que l'effort auquel il fait équilibre, et cette disproportion ne peut être rachetée que par une disproportion pareille dans les vitesses virtuelles des deux extrémités de la transmission; il faut donc, ou bien que le petit bras des leviers intermédiaires soit extrêmement court, ou bien que ces leviers soient fort nombreux: de là des incertitudes et des incorrections. D'autre part, la mise en équilibre de la romaine exige que l'on touche au contrepoids, et cette manœuvre peut entraîner des à-coups fâcheux pour l'exactitude des pesées.

M. H. Thomasset, de Paris, a cherché à échapper à ces difficultés par un moyen aussi simple qu'ingénieux, employé précédemment, du reste, pour la construction de manomètres à très haute pression. L'effort à mesurer est transmis au centre d'un grand plateau horizontal, lequel s'appuie, par l'intermédiaire d'une feuille de caoutchouc formant joint étanche, sur un liquide contenu dans une cuvette plate; l'aire du plateau étant grande, un effort, même considérable, qui lui est transmis, se traduit par une pression unitaire modérée, que l'on peut facilement évaluer au moyen d'un manomètre à air libre; le produit de cette pression par la surface du plateau donne la mesure de l'effort.

Ce système supprime les frottements et les incertitudes qui résultent de l'emploi des leviers; son principal avantage est de donner le chiffre cherché par une seule lecture, sans qu'il soit nécessaire d'obtenir l'équilibre par des tâtonnements. Sur l'appareil ainsi construit, l'équilibre s'établit lui-même; la hauteur de la colonne mercurielle suit exactement toutes les variations de l'effort; l'expérience peut se faire d'une manière continue et sans arrêt; c'est là un point d'une grande importance, si l'on veut arriver à des résultats comparables, attendu que les propriétés des métaux se modifient rapidement lorsqu'ils sont maintenus pendant un certain temps à l'état de tension ou de pression. Gr. VI. — Cl. 54.

Les dessins ci-après (fig. 78 et 79) représentent une machine à

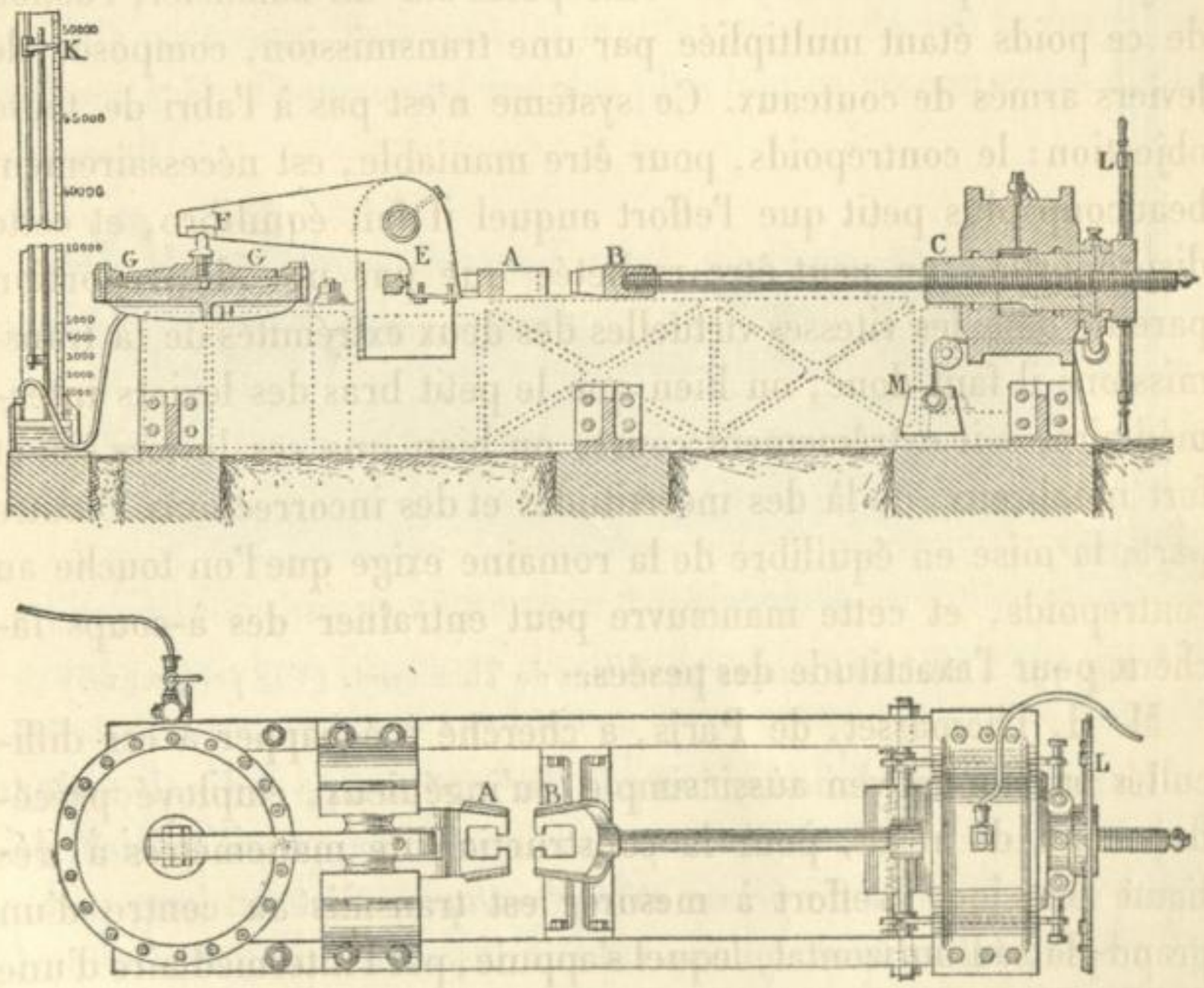


Fig. 78. — Machine à essayer les métaux de Thomasset. (Coupe longitudinale et plan.)

essayer les métaux à la traction, d'une force de 50 tonnes. Les deux premières figures sont une coupe longitudinale et un plan, et la dernière, une vue perspective de l'appareil. L'éprouvette à essayer est saisie par les deux mâchoires A et B; la traction est

Gr. VI. — Cl. 54.

opérée par le piston de presse hydraulique C; elle est transmise par le levier coudé EF au plateau GG, lequel presse sur l'eau contenue dans la cuvette H; cette pression est mesurée par la hauteur de la colonne mercurielle dans le manomètre à air libre K; le volant à main L, dont le moyeu est percé d'un écrou mordant sur la tige de traction, laquelle est filetée, sert à ajuster avant l'expérience la distance des deux mâchoires A et B, à la longueur de la barrette à essayer; les contrepoids M ramènent le piston quand on supprime la pression; N est le cadran d'un petit comparateur, qui se fixe à la barrette et en mesure les allongements.

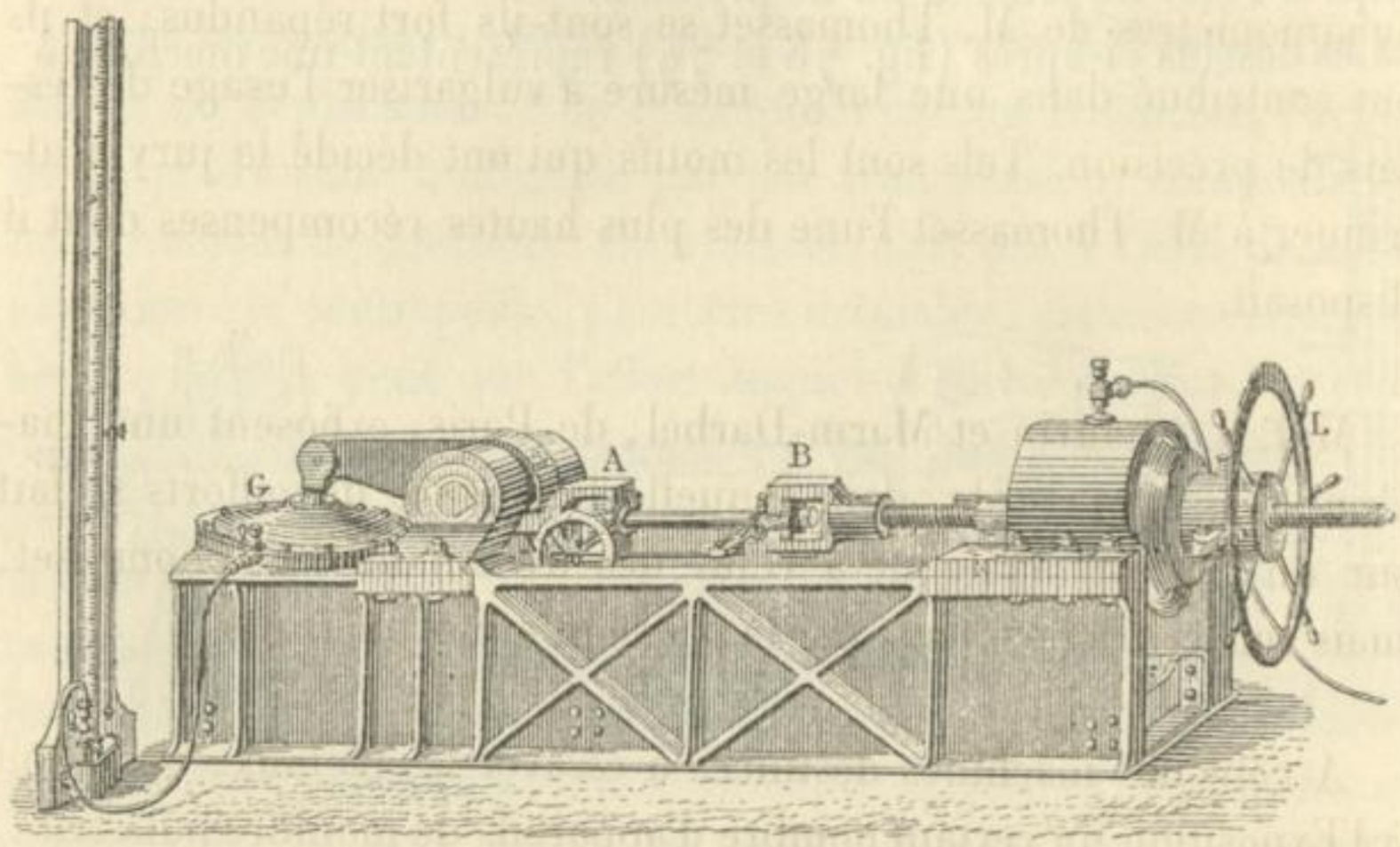


Fig. 79. — Machine à essayer les métaux de Thomasset. (Vue perspective.)

La pression est donnée, non pas par une pompe ordinaire, dont le jeu occasionnerait des à-coups, mais par un appareil spécial, désigné sous le nom de *presse stérhydraulique;* c'est un long piston de presse hydraulique, qu'une vis fait descendre progressivement, et par un mouvement doux et continu; la presse stérhydraulique peut d'ailleurs être mue, soit à la main, soit par une transmission.

Le dynamomètre que nous venons de décrire est spécialement destiné aux essais à la traction. M. Thomasset avait exposé une série complète d'appareils pour les essais à la compression, à la flexion, à la torsion, ainsi que pour les épreuves d'essieux et ban-

dages de chemins de fer. La même exposition comprenait aussi des appareils de moindre puissance, fondés sur les mêmes principes, et destinés à contrôler la résistance et l'allongement des fils métalliques, des tissus, des papiers, etc., ainsi qu'un intéressant appareil pour éprouver les bouteilles de vin de Champagne et d'eau gazeuse, et divers accessoires.

Toutes ces machines étaient établies avec une entente parfaite, et leur exécution était excellente; elles fonctionnaient avec une douceur et une sûreté remarquables. Grâce à la continuité des indications données par le manomètre à mercure, les expériences deviennent faciles et leurs résultats parlent aux yeux. Aussi les dynamomètres de M. Thomasset se sont-ils fort répandus; et ils ont contribué dans une large mesure à vulgariser l'usage des essais de précision. Tels sont les motifs qui ont décidé le jury à attribuer à M. Thomasset l'une des plus hautes récompenses dont il disposait.

MM. E. Chauvin et Marin-Darbel, de Paris, exposent une machine d'essai verticale, dans laquelle la mesure des efforts se fait sur un plateau analogue à celui des dynamomètres Thomasset, mais renversé et soutenu par la pression atmosphérique.

A côté des machines destinées à essayer les métaux, on voyait à l'Exposition un certain nombre d'appareils de moindre puissance, ayant pour objet l'épreuve de divers matériaux employés dans les constructions ou dans l'industrie. Nous avons parlé plus haut des appareils de M. Thomasset pour l'essai des fils et des tissus.

M. L. Paupier, de Paris, expose une romaine pour éprouver la résistance des ciments, des mortiers, des agglomérés, etc. Citons aussi l'appareil de M. de Michele, de Londres, construit dans le même but, et remarquable par sa simplicité et son caractère pratique.

Un petit dynamomètre fort intéressant, pour l'essai des fils, tissus, rubans, etc., est exposé par M. L. Perreaux, de Paris. Pour que ces essais se fassent rapidement et commodément, la tension est mesurée, non pas au moyen d'une romaine, mais par un ressort

Gr. VI. — Cl. 54.

taré, dont la flexion, reportée sur un cadran, se lit d'une manière continue. Mais, dans ces sortes d'expériences, le ressort présente un inconvénient : lorsque la pièce essayée, arrivée à sa limite de résistance, vient à se briser, le ressort tendu se débande brusquement, et produit dans tout l'appareil des chocs destructeurs. M. Perreaux a tourné cette difficulté par un moyen ingénieux : il conjugue le ressort dynamométrique avec un volant un peu lourd ; ce volant se met à tourner quand le ressort se débande, et, emmagasinant sous forme de force vive le travail développé par la détente, il modère le mouvement de recul et supprime les à-coups.

Arrivons maintenant aux appareils destinés à mesurer les forces rapidement variables, et commençons par les indicateurs de Watt.

Les indicateurs construits par M. Richards (C.-B.), de Hartford, Connecticut (États-Unis), sont très répandus et connus de tous les expérimentateurs. L'indicateur de Richards se compose, comme on sait, d'un petit piston très léger, pressé par un ressort, et dont la course est assez courte ; les déplacements sont amplifiés par un parallélogramme articulé ; le papier qui doit recevoir le diagramme est enroulé sur un cylindre, qui reçoit d'un cordon un mouvement oscillatoire ; l'amplitude de ce mouvement est dans un rapport déterminé avec celle du piston de la machine à essayer. Le papier est couvert d'un enduit à base de zinc ; le crayon est en laiton et laisse une trace extrêmement fine, qui donne au diagramme une grande précision. Tous les organes sont combinés et agencés de la manière la plus commode ; l'exécution et l'ajustage de toutes les pièces sont d'une rare perfection.

La prise d'un diagramme d'indicateur sur les machines à grande vitesse présente des difficultés ; l'intensité des pressions variant avec une grande rapidité, surtout au moment de l'admission et de l'échappement, il se produit dans le tracé des perturbations, dues à la masse du piston de l'indicateur et des pièces qui y sont attachées ; le piston est lancé, dépasse sa position d'équilibre et n'y revient qu'après une série d'oscillations.

Ces inconvénients sont atténués dans l'indicateur Richards, où

la masse des pièces mobiles est très petite et où la course du piston est fort réduite. Néanmoins, même avec cet indicateur, les diagrammes relevés sur des machines à mouvements très rapides deviennent tout à fait irréguliers.

M. Marcel-Deprez, de Paris, a tourné cette difficulté par un artifice extrêmement ingénieux; il réduit à 2 ou 3 millimètres la course du piston de l'indicateur, de manière à annihiler les perturbations dues au lancé.

Voici le principe de cet appareil :

Soit un piston d'indicateur, appuyé sur un siège fixe par un ressort d'une tension déterminée; l'excursion du piston est limitée à quelques millimètres par un arrêt supérieur. Si maintenant l'appareil est mis en relation avec un cylindre de machine à vapeur, on voit que le diagramme aura la forme indiquée ci-dessous (fig. 80).

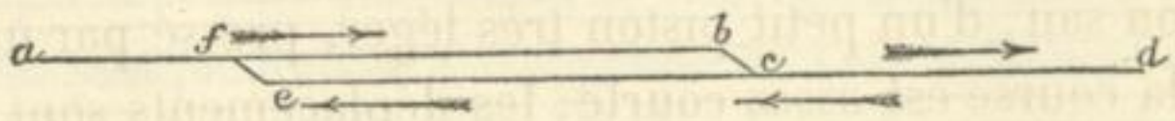


Fig. 80. — Diagramme.

Dans l'intervalle *ab*, la pression dans le cylindre aura été supérieure à la tension du ressort; de *c* en *d* elle lui aura été inférieure; et le décrochement *bc* indiquera le passage de la pression à une valeur correspondant à la tension du ressort.

Actuellement, imaginons que, d'un tour à l'autre de la machine, on fasse varier progressivement cette tension, en déplaçant en proportion les deux arrêts du piston; on obtiendra ainsi une série de diagrammes superposés, dont l'ensemble constituera le diagramme complet d'une révolution ainsi qu'il est figuré ci-après (fig. 81).

Dans l'indicateur de M. Deprez, la compression progressive du ressort, ainsi que le déplacement des deux arrêts, sont obtenus par une vis, que l'on fait mouvoir à la main au moyen d'une manivelle. On voit que le piston de l'indicateur n'a jamais qu'une vitesse très petite, et que par conséquent les erreurs dues au lancé sont évitées. De plus, le diagramme ainsi obtenu jouit d'une propriété qui peut être souvent précieuse; ce diagramme est pour

Gr. VI. — Cl. 54.

ainsi dire le résumé d'un grand nombre de diagrammes successifs; il donne donc le travail moyen pendant plusieurs tours de la machine, et non pas, comme avec l'indicateur de Watt, le travail pendant un seul tour, pris au hasard, et qui peut se trouver entaché d'anomalies, par suite de défauts accidentels dans la distribution ou l'état de l'instrument. En opérant sur un grand nombre de révolutions, au lieu d'une seule, on est bien plus sûr d'éliminer ces anomalies, que d'ailleurs le diagramme de M. Deprez signale très nettement.

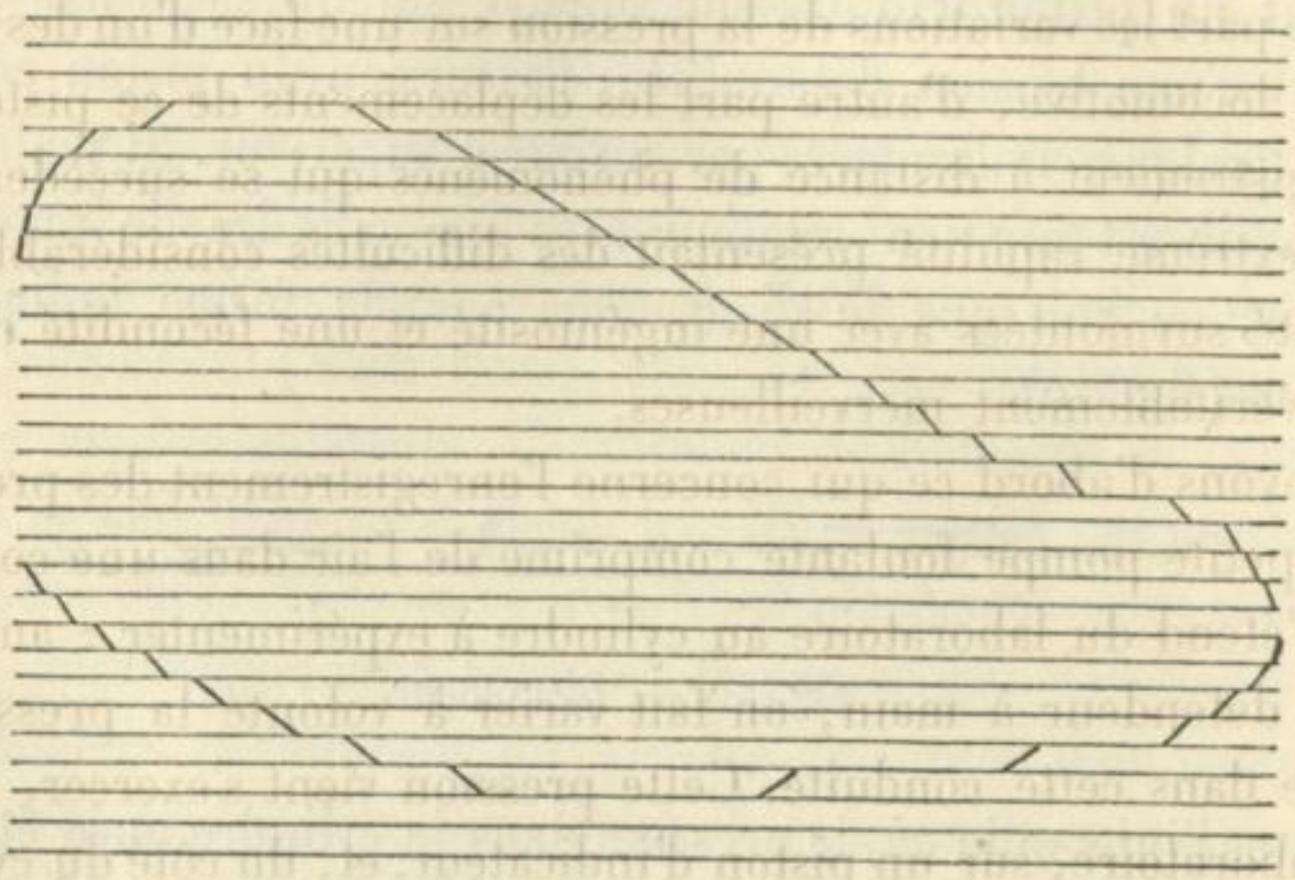


Fig. 81. — Diagramme de l'indicateur Deprez.

L'indicateur de M. Marcel Deprez est construit par M. Paul Garnier, de Paris.

En établissant cet instrument, M. Deprez avait principalement en vue l'étude du jeu des locomotives. Depuis lors, la question a pris plus d'extension; la Compagnie de l'Est a résolu de reprendre les recherches anciennes sur les conditions du mouvement et de la traction des véhicules qui circulent sur les voies ferrées; elle a entrepris un ensemble complet d'études sur ce sujet important et obscur. A cet effet, elle a fait construire un wagon spécial, dans lequel se trouve un laboratoire complet, muni des appareils les plus exacts et les plus délicats pour la mesure des vitesses, des résistances, des efforts de toute nature; ce wagon, installé sous la

direction de MM. Marcel Deprez et Napoli, figurait à l'Exposition dans la classe des chemins de fer; nous n'avons donc pas à en donner ici la description. Mais parmi les appareils qu'il contenait, ceux qui ont pour objet l'étude des pressions dans les cylindres de la machine touchent de trop près au sujet qui nous occupe, pour que nous puissions les passer sous silence. Gr. VI. — Cl. 54.

Supposons le wagon d'expérience attelé dans un train en marche; sa place est d'ordinaire à la suite du tender de la locomotive. Il s'agit de relever dans le laboratoire et d'inscrire simultanément, d'une part les variations de la pression sur une face d'un des pistons de la locomotive, d'autre part les déplacements de ce piston. Cet enregistrement à distance de phénomènes qui se succèdent avec une extrême rapidité présentait des difficultés considérables, qui ont été surmontées avec une ingéniosité et une fécondité d'invention véritablement merveilleuses.

Voyons d'abord ce qui concerne l'enregistrement des pressions. Une petite pompe foulante comprime de l'air dans une conduite, qui s'étend du laboratoire au cylindre à expérimenter : au moyen d'un détendeur à main, on fait varier à volonté la pression qui règne dans cette conduite. Cette pression vient s'exercer, du côté du laboratoire, sur un piston d'indicateur, et, du côté du cylindre, sur une membrane métallique, qui reçoit sur son autre face la pression de la vapeur dans le cylindre; cette membrane se courbe dans un sens ou dans l'autre, suivant que la pression de la vapeur dans le cylindre est supérieure ou inférieure à celle de l'air dans la conduite; mais ces flexions sont limitées par deux grillages parallèles, très voisins l'un de l'autre, et sur lesquels elle s'appuie alternativement. L'un de ces grillages est mis en relation électrique avec la pointe du crayon métallique de l'indicateur, de telle sorte que chaque fois que la membrane vient à toucher ou à quitter son appui, l'interruption ou le rétablissement du courant électrique marque un point sur le papier, convenablement préparé, qui circule sous le crayon de l'indicateur. Supposons maintenant une pression déterminée établie dans la conduite, et le piston vers une des extrémités de sa course : l'admission commençant, la pression s'élève, devient égale à celle de l'air dans la conduite, et soulève

la membrane; à ce moment précis, un point est marqué électriquement sur le papier; le piston continuant sa course, l'admission est coupée; la pression baisse, et dès qu'elle a atteint celle qui règne dans la conduite, un second point est marqué sur le papier. Ainsi, à chaque révolution de la machine, deux points seront marqués, et l'ordonnée de ces deux points aura pour valeur celle de la pression qui règne dans la conduite, mesurée à l'échelle résultant de la flexibilité du ressort de l'indicateur.

Actuellement, admettons que, pendant quelques minutes, le régime de marche du convoi en mouvement soit bien régulier; imaginons le papier de l'indicateur animé d'un mouvement proportionnel à celui du piston de la machine; et, au moyen du détendeur, faisons croître progressivement la pression dans la conduite, depuis la pression atmosphérique jusqu'à la pression de la chaudière; à chaque tour de l'essieu moteur, deux points seront marqués sur le papier, et l'ensemble de ces points constituera le diagramme du travail de la vapeur, diagramme absolument correct, obtenu sans temps perdu et sans erreurs dues au lancé.

Voyons maintenant comment on est parvenu à établir le synchronisme entre les mouvements du piston de la machine et ceux du papier de l'indicateur. Il ne fallait pas songer pour cet objet à une transmission ordinaire, l'élasticité des attelages, les irrégularités de la voie et de la marche des véhicules auraient rendu ce moyen illusoire. Voici la méthode qui a été imaginée: le mouvement est emprunté à l'un des essieux du wagon d'expérience; il est transmis à un axe intermédiaire portant un plateau-manivelle, qui commande par une bielle le va-et-vient d'un cadre, sur lequel on fixe le papier préparé; comme les vitesses angulaires des roues du wagon et des roues motrices de la locomotive sont dans un rapport déterminé, qui ne dépend que de leurs diamètres respectifs, il est facile de calculer la transmission de telle sorte que la vitesse de rotation de l'axe intermédiaire soit égale à celle de l'essieu moteur; cette transmission est d'ailleurs à rapports de vitesse variables à la main, et des systèmes de rappel permettent d'établir une concordance exacte entre les deux mouvements. Pour s'assurer que cette concordance est parfaite, et que le cadre porte-papier

arrive à bout de course au même instant physique que le piston de la machine, on a disposé sur la locomotive une borne fixe, qui est touchée, à chaque tour de roue, par un doigt porté par l'essieu moteur; au moment de ce contact, une étincelle électrique éclate entre deux pointes, placées en regard du plateau-manivelle qui commande le mouvement du papier; on vise les pointes au moyen d'une alidade fixe et d'une pinnule percée dans le plateau-manivelle; quand le synchronisme est établi, l'étincelle est visible à travers la pinnule; s'il en est autrement, on corrige les vitesses relatives ou l'orientation du plateau.

A la suite des appareils ayant pour objet de mesurer la force, il convient d'examiner ceux destinés à la mesure de la vitesse. Il y en avait un grand nombre à l'Exposition; la plupart d'entre eux étaient établis en vue de mesurer la vitesse des arbres tournants, et dérivaient plus ou moins directement de l'action de la force centrifuge sur des masses mobiles.

Citons, entre autres, le tachymètre de MM. Buss, Sombart et Cie, de Paris; le tachomètre Du Colombier, exposé par M. A. Pihet, de Paris. D'autres indicateurs de vitesse fonctionnaient en vertu de la force centrifuge d'un liquide; dans le tachymètre de MM. D. Napier et fils, de Londres, très simple comme principe et comme construction, le liquide employé était du mercure.

L'indicateur de vitesse exposé par M. Ed. Bourdon et imaginé par M. Eugène Bourdon, de Paris, est fondé sur la propriété des tubes métalliques. Un tuyau à section méplate, courbé en arc et chargé à ses deux extrémités de boules pesantes, est fixé par son milieu à un axe vertical tournant; quand la vitesse de rotation s'accélère, les deux boules s'écartent, la courbure du tuyau diminue; par conséquent sa capacité intérieure augmente. Ce tuyau est plein d'eau et communique, par le sommet de sa courbure, avec un tube vertical en verre; les variations de niveau du liquide dans ce tube indiquent celles de la vitesse de rotation.

M. Paul Garnier, de Paris, expose un indicateur différentiel de vitesse, inventé par M. Valessie, et ayant pour objet de régulariser

Gr. VI. — Cl. 54.

la marche des navires. Il s'agit de maintenir à la machine propulsive une allure absolument constante et déterminée à l'avance. La partie essentielle de l'appareil est un compteur à secondes, dont le boîtier, actionné par la machine à l'aide d'engrenages à combinaisons variables, tourne sur lui-même en sens inverse de l'aiguille; le rapport des engrenages étant convenablement établi pour une allure donnée, l'aiguille doit rester immobile; si l'allure de la machine vient à se modifier, le boîtier va plus vite ou plus lentement, l'aiguille se déplace à droite ou à gauche, et le mécanicien, immédiatement prévenu, modifie en conséquence la distribution. Ce compteur rend de sérieux services dans les manœuvres d'escadre, où la régularité de vitesse des navires voyageant de conserve est de première nécessité.

Voici un petit appareil qui a pour objet de contrôler la marche des trains de chemins de fer. Devant un papier, qu'entraîne un mouvement d'horlogerie, est disposé un crayon porté par une tige élastique. Quand l'appareil est au repos, la trace laissée est fine et unie. Mais s'il est emporté dans un wagon en mouvement, les trépidations impriment au crayon des mouvements qui grossissent le trait; on recueille ainsi la trace des moments d'arrêt et de marche du train sur le papier mobile, lequel a reçu à l'avance des indications imprimées propres à faciliter le contrôle. MM. Guébhard et Tronchon, de Paris, d'une part, et M. Brunet (A.), d'Amiens, de l'autre, exposent ces contrôleurs de la marche des trains, qui rendent de véritables services à l'exploitation.

Plusieurs maisons fabriquent des compteurs de tours, fort simples et bien disposés. Citons, entre autres, MM. Paul Garnier, de Paris, J. Deschiens, de Paris, A. Sainte, de Paris.

MM. Legrand et Sutcliff, de Londres, exposent un tourniquet-compteur bien exécuté.

M. E. Ferret, de Paris, présente un appareil pour la division des bandes de papier qui servent à embobiner les rubans.

M. Henry Pottin, de Paris, expose un compteur de caisse fort

ingénieux, qui, par un mouvement automatique, fait apparaître sur des cadrans de contrôle les sommes encaissées, et donne en même temps le total de toutes les recettes effectuées.

L'instrument présenté par M. C. Manet, de Paris, est l'application à un cas particulier d'une idée fort juste : la mesure des efforts que subissent les organes d'une construction au moyen des déformations élastiques de ces organes. Il sert à mesurer les variations de longueur des barres soumises à des efforts de traction ou de compression ; à l'un des points de la barre à essayer on fixe le pivot d'un levier coudé à bras inégaux ; en un autre point on adapte l'extrémité d'une tige rigide, convenablement guidée ; le bout de cette tige vient au contact du petit bras du levier coudé, qui est appuyé par un léger ressort ; les mouvements de ce levier, amplifiés par un engrenage, sont traduits sur un cadran par une aiguille, dont les déplacements servent de mesure aux variations de la distance entre les deux points considérés. Cet instrument peut rendre des services pour l'évaluation expérimentale des efforts qui se développent dans les pièces des ponts et constructions en métal.

Signalons, dans le même ordre d'idées, un appareil fort simple et bien entendu, pour la mesure de la flexion des ponts en fer, exposé par M. A. Askenasy, de Vienne (Autriche).

CHAPITRE XI.

PIÈCES DE MÉCANISME DÉTACHÉES.

Sommaire. — Objet du présent chapitre.

Proportions des organes de machines. — Calcul de ces proportions. — Résistance des matériaux. — Forces extérieures. — Efforts intérieurs. — Méthodes empiriques. — Formes extérieures.

Pièces exposées. — Pièces de fonte. — Pièces de forge. — Pièces d'acier. — Exposition de Withworth. — Pièces de chaudronnerie du Creusot, de Tavernier, de Haller, de la *Leeds forge Company*.

Les organes des machines peuvent être étudiés à bien des points de vue différents. Nous nous bornerons, dans le présent chapitre, à quelques observations sur les organes des machines qui figuraient à l'Exposition, considérés comme des pièces isolées, en faisant, dans une certaine mesure, abstraction de l'ensemble dont elles faisaient partie: ce sont principalement les questions d'exécution que nous avons ici en vue. Nous aurons à étudier d'abord celles de ces questions qui se rapportent à la forme des organes, et ensuite celles relatives aux matières dont ils sont composés et à la mise en œuvre de ces matières.

Si l'on vient à comparer une machine de construction récente, telle que celles qu'on pouvait voir dans les galeries de l'Exposition, avec une machine de même nature, mais construite il y a vingt ou trente ans, on constate, au premier abord, des différences importantes dans les proportions de tous les organes. Les pièces des machines modernes sont plus légères d'aspect, plus simples, plus élégantes, la matière est mieux répartie, et ses propriétés sont mieux utilisées. Il y a là un progrès notable, évident.

On peut se demander si, à ce point de vue, il n'y a plus rien à désirer? Nos constructeurs ont-ils atteint la limite dans la légèreté des organes et dans le bon emploi de la matière? Il semble que

tout n'est pas dit, et qu'il reste encore beaucoup à gagner. Parmi les causes qui embarrassent la marche du progrès dans cette direction, il faut compter au premier rang l'incertitude qui pèse sur la plupart des questions relatives à la résistance des matériaux.

Une pièce quelconque de machine est soumise à des efforts extérieurs, qu'elle transmet à d'autres pièces, avec laquelle elle est en contact; si l'on pouvait connaître exactement l'intensité et la direction des forces qui s'exercent entre les molécules dont cette pièce est composée, il serait en général facile de déterminer les dimensions les plus convenables à donner à ses différentes parties. Les données qui doivent concourir à la solution de ce problème peuvent se réduire à trois termes principaux : en premier lieu, les forces extérieures agissant sur la pièce considérée; en second lieu, la manière dont ces efforts se transmettent de proche en proche, de molécule en molécule; enfin les qualités de la matière dont la pièce est composée.

Pour ce qui concerne les propriétés de la matière, élasticité et résistance, en tant qu'il s'agit des métaux en usage dans les constructions mécaniques, ces propriétés sont aujourd'hui connues avec une exactitude très suffisante; les expériences extrêmement nombreuses, auxquelles on s'est livré depuis une dizaine d'années, ont jeté de très vives lumières sur ce point naguère encore fort obscur.

Pour ce qui concerne l'évaluation des efforts extérieurs auxquels sont soumis les organes de machines, on est arrivé, à cet égard, à quelques résultats qui ne sont pas sans importance; on sait notamment calculer les efforts de l'inertie et des forces qui en résultent dans les mouvements rapides, et les faire entrer en ligne de compte dans l'établissement des projets; c'est là d'ailleurs à peu près le seul contingent un peu sérieux que, dans ces dernières années, la mécanique théorique ait apporté au sujet qui nous occupe. Mais on reste encore dans une grande ignorance relativement aux efforts résultant des chocs, du jeu produit par l'usure, du serrage exagéré des articulations, etc., efforts qui devraient tous être pris en considération par le constructeur consciencieux; car, pour accidentelles que soient le plus souvent ces diverses causes de

détérioration, toute machine qui ne serait pas prémunie contre elles serait mise promptement hors de service. Sans doute certains de ces efforts échapperont toujours à une évaluation précise; mais il en est d'autres qui semblent par leur nature être moins rebelles au calcul, et qu'il y aurait grand intérêt à analyser, soit par la théorie, soit par l'expérience; citons, comme exemples, les efforts résultant du jeu des organes ou du défaut de réglage des coussinets, etc.

Quoi qu'il en soit, une pièce étant donnée, supposons connues, et les propriétés de la matière dont elle est constituée, et les forces extérieures qui agissent sur elles; il s'agit d'en déduire les forces intermoléculaires qui se développeront dans cette pièce, et les déformations qu'elle subira. Il n'y a là qu'un simple problème de mécanique analytique. Malheureusement l'analyse est impuissante à le résoudre, et de plus, il faut bien le constater, on ne voit pas que depuis quelques années il ait été fait de pas bien rapides vers la solution. Tant qu'il ne s'agit que de pièces à formes prismatiques, considérées en des points éloignés des points d'application des forces extérieures, on arrive, moyennant certaines hypothèses plus ou moins plausibles, à calculer assez exactement les forces moléculaires, en tant du moins qu'elles sont inférieures à la limite d'élasticité de la matière. Mais quand cette limite est atteinte ou dépassée, quand on se rapproche des points d'application à des forces extérieures, quand on a affaire à des pièces à deux ou à trois dimensions comparables entre elles, alors il devient impossible d'établir aucun calcul rationnel: tel est l'état actuel des choses.

En fait, la théorie de la résistance des matériaux ne prête à la construction des machines qu'un secours assez faible et précaire. Faute de trouver en elle un guide suffisant, les praticiens ont dû se rejeter sur une autre méthode, extrêmement pénible et lente à appliquer, et dont les résultats sont toujours plus ou moins suspects: c'est la méthode empirique. Lorsque l'on a un organe de machine à exécuter, on se reporte à une machine analogue déjà construite, et dont la marche est regardée comme satisfaisante; on prend comme modèle l'organe de cette machine corres-

pondant à celui que l'on doit construire; on modifie plus ou moins ce type, en se laissant guider par les conditions spéciales dans lesquelles on se trouve placé, et souvent aussi par l'œil et le sentiment; la pièce ainsi obtenue, une fois exécutée et montée, on observe, si on le peut, son fonctionnement, en vue des constructions ultérieures; et c'est ainsi que, de proche en proche, au prix de mille incertitudes, de tâtonnements, d'insuccès, de repentirs innombrables, les constructeurs en sont arrivés à des traditions qui ne se modifient qu'avec une lenteur extrême. Ces traditions sans doute ne sont pas exemptes d'erreurs; d'ailleurs elles sont loin d'être les mêmes dans les divers ateliers, et il y a à cet égard des discordances parfois inexplicables. Cependant l'unité et le progrès se font peu à peu. Combien il est fâcheux que, sur le point qui nous occupe, la théorie n'ait pas marché d'un pas égal avec la pratique, à laquelle elle devrait servir d'appui et fournir une énergique impulsion!

Presque tous les constructeurs modernes ont le bon goût d'écarter les ornements inutiles, moulures, cordons, cannelures, etc. Les formes de chaque pièce sont, autant que possible, la traduction du service qu'elle a à faire. C'est là de la bonne et véritable élégance, l'aspect extérieur est sobre, sérieux et nullement déplaisant à l'œil; faisons cependant exception pour certaines machines américaines, qui sont peintes de couleurs voyantes et d'enluminures criardes et désagréables.

Passons maintenant à l'examen des questions relatives à l'exécution proprement dite.

Sans empiéter sur le domaine de la métallurgie, il est cependant nécessaire de dire quelques mots des ressources nouvelles que l'exécution des pièces métalliques peut tirer des progrès réalisés dans l'art du fondeur et du forgeron.

On voyait à l'Exposition de fort belles pièces de fonte; citons notamment le cylindre de machine marine exposé par le Creusot: le cylindre, son enveloppe de vapeur, les lumières, la table du tiroir et la boîte à vapeur sont venus de fonte en une seule pièce.

Ce magnifique bloc, aux formes extrêmement compliquées, et qui pesait près de 25 tonnes, était à l'état brut, sortant du moule. Le métal était parfaitement sain et sans défaut.

D'autres maisons présentaient également de fort belles pièces de fonderie. Néanmoins on ne voit pas que, dans ces dernières années, l'art du fondeur ait fait des progrès bien notables. La qualité du métal ne s'est pas sensiblement améliorée, et, à part quelques perfectionnements de détail, les procédés de mise en œuvre sont restés à peu près les mêmes.

Ce que nous venons de dire des pièces de fonderie, nous pouvons presque le répéter au sujet des pièces en fer forgé. Il y en avait de fort belles à l'Exposition; ainsi le Creusot exposait un arbre de couche en fer pour machine marine de 18 mètres de long, 425 millimètres de diamètre, pesant 20,000 kilogrammes, et d'une venue admirable; on voyait dans les vitrines de ce grand établissement de magnifiques spécimens d'objets en fer forgé et tourné. Les autres usines métallurgiques françaises et étrangères avaient également des expositions fort remarquables.

Mais, en somme, le progrès n'est pas aussi sensible qu'on pourrait le désirer; il réside surtout dans l'usage plus répandu d'engins mécaniques d'une grande puissance; beaucoup d'usines sont aujourd'hui outillées de manière à forger les grosses pièces, qui naguère encore étaient le monopole d'un petit nombre d'établissements.

Si nous n'avons à constater que des changements d'importance secondaire, en ce qui concerne la fonderie et la forge du fer, il en est tout autrement en ce qui concerne l'acier. On peut dire que les dix années qui viennent de s'écouler ont vu inaugurer, sinon s'accomplir, une révolution radicale dans l'emploi de l'acier pour pièces mécaniques.

Cette transformation, qui est loin d'être encore complète, ne s'est pas opérée sans de nombreux tâtonnements. Nous avons vu, en parlant des tôles pour chaudières, comment l'acier fit sa première apparition dans la grosse mécanique à l'Exposition de 1855.

Gr. VI. — Cl. 54.

Mais cette première tentative ne fut pas poursuivie; la fabrication de l'acier en grandes masses n'avait pas encore acquis assez de précision; les qualités diverses de l'acier, corrélatives de sa composition, n'étaient pas encore suffisamment connues. Quelques constructeurs essayèrent d'introduire l'acier dans la composition de leurs machines; des échecs sérieux arrêtèrent presque immédiatement ce mouvement, et l'Exposition de 1867 ne présentait que peu de spécimens de pièces de machines en acier.

Mais depuis lors la métallurgie de l'acier a fait des progrès rapides; on connaît aujourd'hui très exactement les propriétés que ce métal peut revêtir, qualités qui parcourent tous les degrés d'une échelle fort étendue; et le maître de forges sait donner à une pièce d'acier, avec une précision parfaite, telle qualité de résistance, d'élasticité ou d'allongement qui est demandée par le consommateur. Enfin on est parvenu à produire en acier fondu des masses de toute dimension, saines, solides et absolument exemptes de soufflures; aussi les usages de l'acier se sont-ils rapidement étendus, et un grand nombre d'organes des machines exposées en 1878 étaient en acier.

Pour ne pas sortir du domaine de la mécanique générale, citons seulement la magnifique exposition de sir Joseph Withworth et Cie, de Londres. Parmi les pièces exposées par cette célèbre maison, on remarquait un arbre pour navire à hélice et un cylindre de machine à vapeur.

L'arbre était creux et avait les dimensions suivantes:

Longueur	$10^{m},25$
Diamètre extérieur	0 ,445
Diamètre intérieur	0 ,289
Poids	$18,150^{kil}$.

Le cylindre de machine avait les dimensions ci-après:

Diamètre extérieur	$2^{m},00$
Diamètre intérieur	1 ,91
Épaisseur des parois	0 ,045
Longueur	1 ,50
Poids	$3,300^{kil}$.

Ces deux pièces étaient en acier fondu coulé, comprimé et forgé à la presse; elles étaient ajustées et polies dans toutes leurs parties, absolument sans défaut et d'une rectitude de formes admirable. Elles ont excité au plus haut degré l'intérêt du jury, qui a décerné à sir Withworth un grand prix, en reconnaissance des services qu'il a rendus aux industries mécaniques, par ses longues et persévérantes recherches sur la fabrication des pièces de forge en acier.

D'autre part, plusieurs usines métallurgiques exposaient de fort beaux spécimens de pièces de mécanisme en acier forgé ou coulé. A côté du Creusot, citons notamment les usines de Terre-Noire, les aciéries de la marine et des chemins de fer, etc. L'acier est employé couramment dans le matériel des chemins de fer, pour les essieux et les bandages; pour les rails, il a supplanté le fer d'une manière à peu près exclusive; il semble hors de doute qu'avant peu d'années, il se substituera au fer dans la plupart de ses usages.

L'Exposition présentait des spécimens de tôles forgées et pliées d'une exécution remarquable.

Dans le pavillon du Creusot, on remarquait, entre autres, des pièces de chaudronnerie pour chaudières tubulaires, notamment des raccords entre le corps cylindrique et la boîte à feu; puis toute une série de pièces en tôle, mince ou épaisse, de fer ou d'acier, contournées, ployées, embouties, et faisant ressortir, non seulement l'excellente qualité de la matière, mais encore une habileté de main extraordinaire.

Nous avons déjà eu l'occasion de mentionner les chaudières avec joints soudés, exposées par MM. Imbert frères, de Saint-Julien-en-Jarret (Loire), ainsi que les tubes de chaudière, système Field, présentés par la même maison. L'exécution de ces tubes ne laisse pas que de présenter des difficultés. Elles sont surmontées par un procédé spécial de forgeage, dû à M. H. Tavernier, de Paris. Le tube, comme on sait, est à double paroi; la paroi intérieure B (fig. 82) est en tôle mince; le tube extérieur A est fermé par le bas; il doit résister à la pression, et ne présenter, ni inégalités, pouvant favoriser les incrustations, ni surépaisseurs, pouvant occasionner des coups

Gr. VI. — Cl. 54.

de feu. A cet effet la fermeture du bas du tube est obtenue au moyen de retreintes successives; le tube droit T en fer, sans soudure, est chauffé, saisi entre l'enclume D et l'étampe C, et amené progressivement, par une série de chauffes et d'étampages, à sa forme définitive et régulière, en passant par les formes intermédiaires indiquées sur la figure.

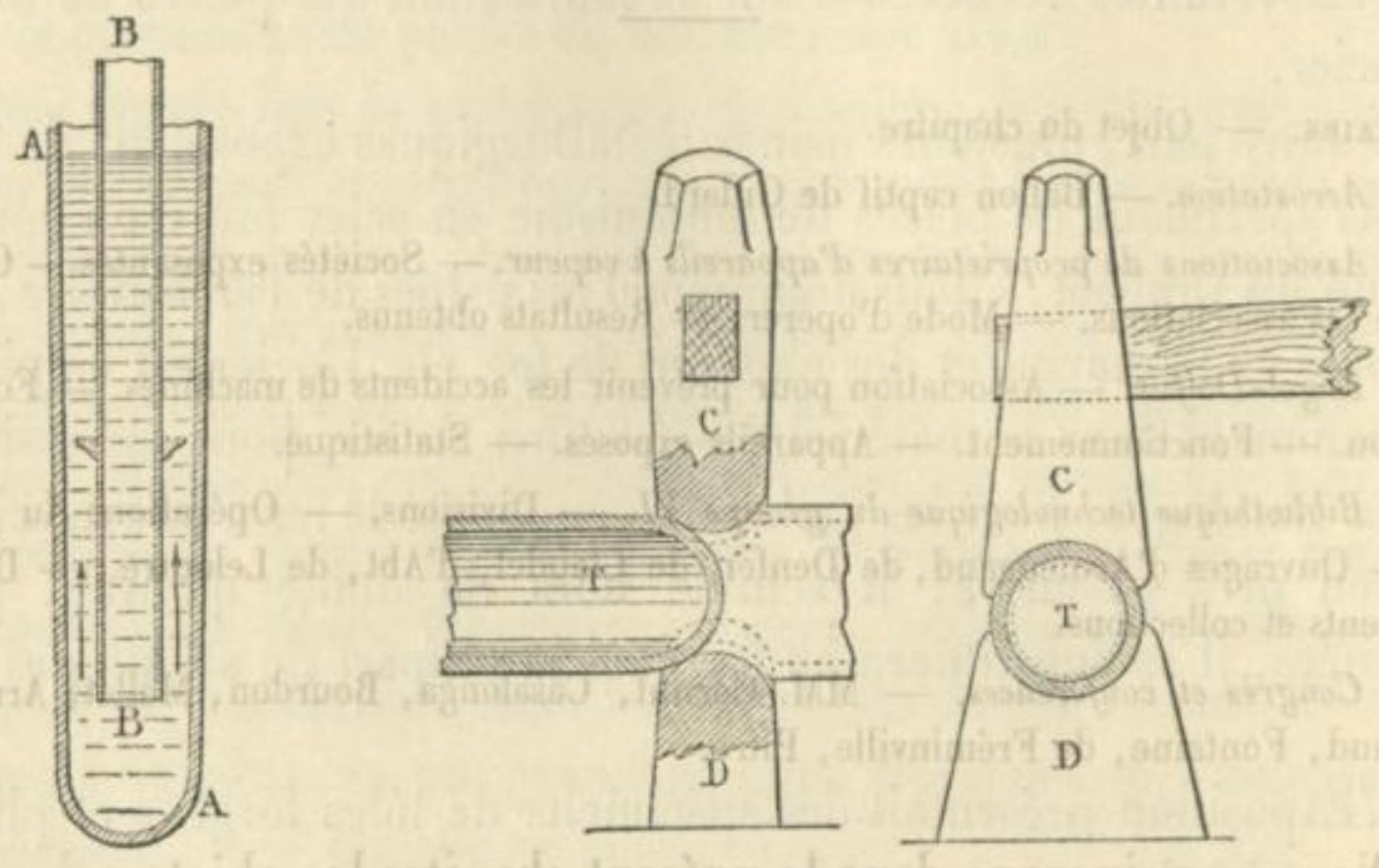


Fig. 82. — Fabrication des tubes Field.

Un modeste constructeur, M. J. Haller, de Thaon (Vosges), exposait des tubes en tôle, rivés mécaniquement, de toutes longueurs et sous de fort petits diamètres; ces tubes étaient fort bien exécutés, et la rivure excellente.

Rappelons enfin, comme pièce de chaudronnerie remarquable, le triple foyer intérieur en tôles ondulées de Fox, exposé par la *Leeds forge Company,* et que nous avons déjà eu occasion de mentionner.

CHAPITRE XII.

OBJETS DIVERS NE RENTRANT PAS DANS LES CATÉGORIES PRÉCÉDENTES.

Sommaire. — Objet du chapitre.

Aérostation. — Ballon captif de Giffard.

Associations de propriétaires d'appareils à vapeur. — Sociétés exposantes. — Objet de ces associations. — Mode d'opérer. — Résultats obtenus.

Engel-Dolfus. — Association pour prévenir les accidents de machines. — Fondation. — Fonctionnement. — Appareils exposés. — Statistique.

Bibliothèque technologique du groupe VI. — Divisions. — Opérations du jury. — Ouvrages d'Armengaud, de Denfer, de Claudel, d'Abt, de Leloutre. — Documents et collections.

Congrès et conférences. — MM. Cornut, Casalonga, Bourdon, Mallet, Armengaud, Fontaine, de Fréminville, Pifre.

Nous examinerons dans le présent chapitre les objets suivants :

Les *aérostats;*

Les *Sociétés techniques* qui étaient représentées à l'Exposition;

La *Bibliothèque technologique* instituée par le groupe VI, en ce qui concerne la mécanique générale;

Enfin quelques-unes des communications faites dans le *Congrès du génie civil* et dans les *Conférences* du Trocadéro.

Dans la nomenclature des objets réservés à la classe 54 par le règlement général de l'Exposition figurent les aérostats. Malheureusement le jury a dû constater, avec un très vif regret, que l'art de l'aérostation n'était pas représenté à l'Exposition. Ce n'est pas à dire que cet art ait disparu; mais il faut bien convenir que, depuis sa création, il n'a pas fait de progrès bien importants. S'il est vrai que le goût des traversées aériennes est plus répandu que jamais, qu'un plus grand nombre d'amateurs se plaisent à explorer les hauteurs de l'atmosphère, on doit avouer qu'on n'est guère plus avancé qu'autrefois en ce qui concerne la direction des

Gr. VI. — Cl. 54.

ballons, et que les voyages dans les airs ne présentent guère moins d'incertitudes ni de dangers, comme le démontrent les catastrophes qui terminent trop fréquemment ces aventureuses excursions.

Cependant, après les services signalés que les ballons ont rendus à notre pays pendant la douloureuse période du siège de Paris, il y aurait presque de l'ingratitude à les passer sous silence dans un rapport sur l'Exposition de 1878.

D'ailleurs si, dans l'enceinte même du Champ de Mars, nous ne trouvons pas les matériaux nécessaires à une étude de l'aérostation, cette lacune est surabondamment comblée par une vaste et admirable installation aéronautique, qui a été conçue et édifiée à l'occasion de l'Exposition, qui en était l'annexe immédiate, que ses gigantesques proportions seules ont fait écarter du territoire commun aux exposants, et qui résume en elle tous les progrès réalisés dans l'art de la construction des ballons.

Quoique le nom de M. Henry Giffard ne figure pas sur les catalogues de la classe 54, une description sommaire de son ballon captif nous semble un complément indispensable du rapport sur la mécanique générale.

L'aérostat établi par M. Henry Giffard dans la cour des Tuileries était disposé pour enlever 50 personnes à la fois à une hauteur de 500 mètres au-dessus du sol. Il était rattaché au sol par un câble s'enroulant sur un treuil à vapeur.

Voici les dimensions principales de cet immense appareil :

Aérostat	Diamètre	$36^{m},00$
	Volume	$25,000^{mc}$
	Force ascensionnelle	$25,000^{kg}$
	Diamètre de la soupape supérieure	$0^{m},55$
	Diamètre de la soupape inférieure	0 ,80
Câble	Longueur totale en service	660 ,00
	Diamètre à la partie supérieure	0 ,085
	Diamètre à la partie inférieure	0 ,065
Treuil à vapeur	Diamètre du tambour	1 ,70
	Longueur du tambour	10 ,00

Le ballon a une forme sphérique. L'étoffe dont il est formé est constituée par deux couches de tissu de lin très résistant, empri-

sonnées entre trois feuilles de caoutchouc; sur chaque face extérieure est une couche adhérente de mousseline, qui reçoit la peinture. Les coutures sont à double rang, et couvertes, sur la face intérieure, de mousseline collée au caoutchouc, et sur la face extérieure, de caoutchouc vulcanisé interposé entre deux mousselines. La sphère ainsi constituée s'est montrée parfaitement étanche, même à l'hydrogène pur.

Les soins minutieux donnés par M. Giffard à l'étoffe qui formait l'enveloppe de son ballon étaient justifiés par la destination spéciale de cette immense machine; mais l'étude de cette enveloppe et des résultats qu'elle a donnés est d'un grand intérêt pour tous ceux qui s'occupent d'aérostation; on sait en effet que la perméabilité et le défaut de solidité des tissus en usage sont à compter parmi les principales causes des dangers auxquels les aéronautes sont exposés. C'est pourquoi nous avons cru utile d'entrer dans quelques détails sur cette partie de la construction.

L'aérostat est muni dans le haut d'une large soupape en tôle, appliquée sur son siège par des ressorts à boudins; cette soupape se manœuvre à la main, au moyen d'une corde descendant jusque dans la nacelle; dans le bas est pratiquée une seconde soupape, automatique, s'ouvrant de dedans au dehors sous l'action d'un léger excès de pression intérieure : c'est la soupape de sûreté.

Le filet est fabriqué en cordes de 11 millimètres de diamètre; ces cordes sont réunies, à leurs entre-croisements, par un assemblage spécial, évitant la saillie que forment les nœuds ordinaires. Au bas du filet est attaché un système de cordes, qui viennent aboutir à un solide cercle en acier creux, lequel est le centre de tous les efforts qui s'exercent sur le ballon. A ce cercle se rattachent trois séries de cordes :

1° Les cordes soutenant la nacelle;

2° Les cordes reliant le ballon au câble principal;

3° Les cordes d'amarrage, qui retiennent le ballon à terre dans l'intervalle des ascensions.

Dans cette dernière situation, et au cas de vent un peu fort, le ballon est maintenu par des haubans obliques, partant de l'équateur et s'attachant à des corps-morts.

Gr. VI. — Cl. 54.

La nacelle peut contenir 50 personnes : elle a une forme annulaire; c'est un balcon circulaire de 6 mètres de diamètre extérieur, de 1 mètre de largeur; elle laisse dans son milieu une grande ouverture de 4 mètres de diamètre, par laquelle passe le câble de retenue, qui peut ainsi prendre de grandes inclinaisons sans venir en contact avec le bord intérieur de la nacelle. Le fond de la nacelle est muni d'un faux plancher, ménageant en dessous les compartiments, dans lesquels sont arrimés des sacs de lest, des ancres, des cordages, des vivres, en un mot tout ce qui est nécessaire pour un voyage; grâce à cet approvisionnement, la rupture du câble, si improbable qu'elle puisse être, n'aurait d'autre effet que de transformer l'ascension captive en ascension libre, dans les conditions ordinaires de ces sortes de traversées.

Le câble de retenue est amarré au grand cercle de suspension par l'intermédiaire d'un peson, qui indique d'une manière permanente, au moyen de cadrans placés sous les yeux de l'aéronaute, les efforts de tension auxquels il est soumis.

Avant de s'enrouler sur le treuil à vapeur, le câble passe sur une poulie de renvoi fixée au sol; cette poulie, à joint universel et équilibrée autour de son axe, suit d'elle-même toutes les inclinaisons que peut prendre le câble.

Le treuil reçoit, par engrenages, le mouvement de deux machines à vapeur sans condensation, chacune à deux cylindres accouplés. Pendant l'ascension, ces machines agissent comme frein, en aspirant l'air extérieur, pour le refouler à travers des fentes étroites, qui peuvent être réglées à la main ou automatiquement. En outre, un frein à frottement peut caler l'appareil dans ces diverses positions.

Le ballon est rempli de gaz hydrogène pur, préparé par l'action de l'acide sulfurique hydraté sur la tournure de fer; la préparation du gaz a lieu dans un appareil à fonctionnement méthodique et continu. Après avoir servi à fabriquer le gaz pour le gonflement du ballon, cette usine fournissait de temps à autre quelques mètres cubes d'hydrogène, pour compenser celui qui s'échappait des soupapes par l'effet des variations de température; car l'enveloppe en elle-même était sensiblement imperméable.

Le calcul des forces agissant sur l'aérostat en équilibre au haut de sa course s'établit comme suit :

Étoffe du ballon et soupapes	5,300^{kil}
Filets, cordages, cercles, nacelle vide	8,550
Câble (sur 600 mètres)	2,500
Voyageurs et aéronautes	3,000
Approvisionnements dans la nacelle	3,150
TOTAL	22,500

Le force ascensionnelle brute étant de 25,000 kilogrammes, on voit que la tension du câble dans sa partie inférieure, ou l'excédent de force ascensionnelle, est de 2,500 kilogrammes.

Cet excédent est considérable; il a pour effet de réduire les déviations horizontales sous l'action du vent.

D'ailleurs tous les détails de cet immense appareil ont été étudiés et calculés avec une entente remarquable; les différentes pièces de résistance, l'étoffe, les câbles, ont été soigneusement essayés avant la mise en œuvre. En fait, les différents organes de cette audacieuse construction ont rempli avec une précision parfaite toutes les conditions requises; et plus de 50,000 personnes ont fait l'ascension dans le ballon captif, sans qu'on ait eu à constater le moindre accident. On a bien rarement vu une entreprise de cette nature présenter un pareil degré de sécurité[1].

Arrivons maintenant aux *Associations de propriétaires d'appareils à vapeur*.

Ces associations sont des œuvres essentiellement humanitaires. Les services qu'elles ont rendus ont été mis en évidence par l'Exposition collective dont nous avons parlé dans un chapitre précédent, exposition qui était présentée par les trois associations du *Nord de la France*, *Normande* et *Parisienne*; le jury leur a décerné un grand diplôme d'honneur.

[1] Le ballon captif de M. Giffard, plus ou moins avarié à la suite de son dégonflement et d'un séjour de plusieurs mois sous la remise, s'est déchiré sous l'action d'une bourrasque, à la reprise de la campagne en 1879, sans entraîner, du reste, aucun accident de personnes.

Gr. VI. — Cl. 54.

Les associations de cette nature se proposent un double but :

1° Prévenir les accidents et explosions de chaudières à vapeur;

2° Améliorer par des études permanentes l'emploi de la vapeur et du combustible.

Les accidents résultant de l'emploi de la vapeur sont malheureusement encore assez fréquents, et ont souvent des conséquences terribles. Laissons de côté les dégâts matériels, et ne parlons que des accidents de personnes.

En France, pendant la période décennale qui comprend les années de 1868 à 1877, 195 explosions ou accidents de chaudières ont produit 517 victimes, dont 234 morts, et ces chiffres ne comprennent pas les accidents survenus à des récipients de vapeur.

En Angleterre, d'après une statistique établie par l'association du *Midland* pour une période de dix ans, de 1866 à 1875, il est survenu 642 explosions ayant occasionné 1,273 accidents de personnes, dont 764 morts.

Les statistiques faites en Angleterre et en France indiquent les causes des explosions : on peut les classer en trois catégories principales.

Le tableau suivant fournit, pour 100 explosions, la proportion relative à chacune des catégories.

CAUSES DES EXPLOSIONS.	STATISTIQUES ANGLAISES	STATISTIQUES FRANÇAISES.	CHIFFRES MOYENS des deux statistiques.
1° Défauts de construction ou mauvaises réparations.	37	22	29.5
2° Défauts que l'inspection périodique et minutieuse aurait seule permis de découvrir ; corrosions intérieures et extérieures, fentes, etc.	28	27	27.5
3° Défauts provenant de la négligence du chauffeur ou des surveillants.	31	43	37
4° Causes fortuites ou indéterminées. . . .	4	8	6
Sur 100 explosions.	100	100	100

Si l'on considère qu'il entre certainement dans la troisième caté-

gorie un grand nombre d'accidents provenant du mauvais état des appareils de sûreté, du manque d'eau, de l'excès de pression, des incrustations et dépôts, on peut conclure du précédent tableau que la majeure partie des explosions seraient évitées par des visites faites avec soin à certaines périodes, comme les pratiquent les associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

D'ailleurs les résultats constatés par les statistiques, dans les pays où ces associations existent depuis longtemps, viennent en apporter la preuve.

En Angleterre, on compte une explosion par an et par 2,000 chaudières. Si l'on examine les statistiques des associations existant depuis vingt ans, on voit au contraire que l'association de Manchester a une explosion par an et par 6,500 chaudières. L'association de Mulhouse, fondée depuis dix ans, obtient des résultats analogues.

Les Anglais ont compris les premiers le progrès à réaliser sous ce rapport : c'est en 1854 que fut fondée, en Angleterre, la première association de propriétaires d'appareils à vapeur, sous le nom de *The Manchester steam users Association*. Cet exemple a été suivi depuis quelques années par les autres nations; des associations de même nature se sont créées partout, et il en existe aujourd'hui en Europe environ 35, qui ont sous leur surveillance plus de 70,000 chaudières, comme l'établit le détail suivant :

En Angleterre (octobre 1877), 7 associations contrôlent . . .	51,203 chaudières.
En Alsace-Lorraine (juin 1878), 1 association contrôle.	1,470
En Allemagne (1877), 19 associations contrôlent.	10,863
En Autriche (septembre 1877), 1 association contrôle.	3,318
En France (1878), 5 associations contrôlent.	2,443
En Belgique (février 1878), 1 association contrôle.	1,518
En Suisse (mars 1877), 1 association contrôle.	1,092

Donc, 35 associations pour 71,907 chaudières.

C'est en Allemagne qu'il existe le plus grand nombre d'associations. Ce fait trouve son explication dans la sévérité de la loi allemande sur les chaudières à vapeur, laquelle exige des visites périodiques complètes par les agents de l'État, et dans la dispense

Gr. VI. — Cl. 54.

de ces visites accordée aux industriels qui font partie d'une association reconnue.

Comment sont constituées les associations des propriétaires d'appareils à vapeur? Quel est leur fonctionnement? Il n'est pas inutile de le rappeler ici, en raison des services qu'elles rendent, aussi bien au point de vue humanitaire qu'au point de vue des intérêts matériels des industriels eux-mêmes.

Ce sont des associations régionales d'industriels qui, moyennant des cotisations fixes et annuelles, proportionnées au nombre des chaudières abonnées, entretiennent un personnel d'ingénieurs spéciaux et d'inspecteurs, auxquels elles confient la surveillance des appareils à vapeur. Quelques associations se sont adjoint des assurances; mais, avant tout, elles se proposent toutes le double but qui a été précédemment indiqué.

Pour atteindre ce but, les associations procèdent à des visites extérieures, faites aux générateurs en marche, et à des visites intérieures, qui consistent en une inspection complète et minutieuse de toutes les parties des chaudières arrêtées et nettoyées.

Les visites extérieures permettent de vérifier si les chaudières sont bien entretenues et bien conduites, si les appareils de sûreté exigés par la loi existent et sont en bon état de fonctionnement.

Le tableau ci-dessous donne la statistique des visites des appareils de sûreté faites par l'association du nord de la France. Les nombres représentent la proportion des appareils trouvés, dans les visites, en état de bon fonctionnement.

APPAREILS.	1er EXERCICE 1873-1874.	2e EXERCICE 1874-1875.	3e EXERCICE 1875-1876.	4e EXERCICE 1876-1877.
	p. o/o.	p. o/o.	p. o/o.	p. o/o.
Manomètres.....	43	89	88	92
Soupapes de sûreté.....	63	84	89	88
Indicateurs à tubes de verre.	29	55	71	78
Nombre de chaudières marchant avec un seul indicateur d'eau au lieu de deux.	65	37	12	4

On voit quelle rapide et importante amélioration cette surveillance extérieure a amenée dans l'entretien des appareils de sûreté.

Les visites intérieures sont absolument indispensables pour assurer la sécurité des chaudières. Ce sont elles seules en effet qui permettent de découvrir les défauts, les maladies dont ces appareils peuvent être affectés, et ces défauts sont nombreux, comme on l'a vu plus haut.

Les visites, en dehors de leur utilité spéciale, offrent en outre aux inspecteurs l'occasion de donner aux chauffeurs les instructions nécessaires, non seulement au point de vue de la sécurité, mais encore à celui des économies à réaliser dans l'emploi du combustible. Une bonne ou une mauvaise conduite des feux peut amener de grandes différences dans la consommation de houille.

Il suffit, pour s'en convaincre, d'extraire quelques chiffres des résultats des derniers concours faits à Mulhouse et à Lille. Les écarts entre les premiers et les derniers chauffeurs concurrents sont les suivants :

	À LILLE.	À MULHOUSE.
En 1866	28.0 p. 0/0	"
En 1874	7.0	17.8 p. 0/0
En 1875	10.0	13.3
En 1876	"	26.2
En 1877	8.5	16.1

Des économies importantes peuvent être réalisées par une bonne installation des chaudières, et par un choix judicieux de la houille à brûler. Un industriel trouve en définitive de sérieux avantages à s'adresser pour cela aux ingénieurs des associations.

Les essais de machines à l'indicateur de Watt, que les associations exécutent couramment, ont aussi une importance capitale. Ces essais, faits par une personne habituée à manier l'appareil et à lire les diagrammes relevés, permettent de découvrir des défauts graves, tels que mauvais règlements des tiroirs, fuites ou rentrées de vapeur, etc., que rien le plus souvent ne permet de faire soupçonner dans la marche extérieure. Or, la conséquence de ces perturbations est toujours d'augmenter la consommation. Une répara-

Gr. VI. — Cl. 54.

tion dont la nécessité est indiquée par l'essai à l'indicateur amène une économie souvent importante.

Enfin les associations font paraître des publications périodiques, dans lesquelles sont réunis tous les renseignements de nature à être utiles aux propriétaires d'appareils à vapeur, et chaque année leurs ingénieurs en chef, se réunissant en congrès, discutent les questions les plus intéressantes qu'ils ont eu l'occasion d'étudier, et mettent en commun leur expérience, pour le plus grand bien de tous les industriels employant des appareils à vapeur.

Par le résumé qui précède, on peut voir quels services importants ces institutions rendent à l'industrie; ce n'est pas seulement une sécurité plus complète dans la conduite de ces immenses appareils, dont l'explosion entraîne les plus effroyables catastrophes, ce sont les économies constantes et journalières, se traduisant chaque année par des chiffres considérables; à l'égard des ouvriers, c'est une diminution des dangers auxquels ils sont exposés, c'est une direction intelligente, contribuant à perfectionner chaque jour leur instruction professionnelle. Au point de vue des progrès de la science, leur influence n'est pas moins remarquable; ces études persévérantes, attentives, procurent chaque jour des connaissances plus précises, plus exactes, apportent des renseignements précieux et élucident des problèmes obscurs.

On ne peut que souhaiter de voir ces belles associations, qui n'en sont encore qu'à leur début chez nous, prendre solidement pied dans l'industrie française et s'y développer rapidement. N'oublions pas, en terminant, de rappeler qu'une des premières associations de ce genre qui ait pris naissance sur le continent a été créée à Mulhouse, qu'elle était déjà prospère et avait rendu d'éminents services au moment de l'annexion. Cet exemple remarquable de la puissance de l'initiative privée n'a pas été perdu; espérons qu'il trouvera de nombreux imitateurs.

A côté des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, qui ont pour objet essentiel de sauvegarder la vie des chauffeurs et mécaniciens, viennent se ranger les institutions ayant pour but de prévenir les accidents horribles qu'entraîne trop fréquemment

l'usage des machines. Une association de cette nature a été fondée à Mulhouse, il y a dix ans.

Déjà, en 1851, dans le sein de la Société industrielle de cette ville, des études avaient été faites sur les accidents dont sont si souvent victimes les ouvriers qui travaillent dans les manufactures, et sur les moyens d'en diminuer le retour; à la suite d'un rapport rédigé par M. le docteur Penot, la société avait adopté diverses mesures et constitué une commission chargée de les appliquer. Ce fut en 1867 que, sur le rapport de M. Engel-Dolfus, fut fondée l'association dont il s'agit.

La première idée qui s'était fait jour consistait à solliciter l'intervention du législateur en faveur des ouvriers d'usine; on voulait recourir à la loi, à une loi sévère, analogue à celles qui, depuis longtemps en Angleterre, règlent les devoirs et les obligations des chefs d'industrie en matière de sécurité. Mais une étude plus approfondie du sujet ne tarda pas à faire reconnaître qu'on était dans une mauvaise voie: la coercition, exercée par les pouvoirs publics, serait trop étendue et trop générale pour ne pas être inefficace; l'initiative privée, chaudement excitée par les sentiments de ceux qui ont chaque jour sous les yeux les déplorables conséquences des accidents, devait avoir une action bien autrement puissante.

« En vous entretenant de la question des accidents de fabrique, disait M. Engel-Dolfus [1], votre comité d'utilité publique ne fait que continuer une tradition non interrompue d'une quarantaine d'années. S'il revient d'ailleurs à ce palpitant sujet, après un intervalle de dix-sept années, votre comité s'y sent porté par le spectacle navrant des accidents ou des mutilations qui correspondent à chaque recrudescence de notre essor industriel.

« C'est surtout dans les élans du cœur qu'il vous appelle à puiser votre ligne de conduite; car, en admettant les lois les plus parfaites, les responsabilités les mieux définies, il n'en resterait pas moins, sur la brèche du progrès industriel, un certain nombre de victimes, payant de leurs membres, ou même de leur vie, un

[1] Rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse, séance du 25 février 1867.

Gr. VI. — Cl. 54.

instant d'inexpérience ou d'oubli, ou bien encore une légère infraction aux règles de l'atelier. »

L'association mulhousienne pour prévenir les accidents de machines est formée par l'adhésion volontaire des principaux chefs d'industrie du département du Bas-Rhin; elle comprenait au 30 avril 1876 :

783,916 broches de filature, payant une cotisation de..	4,703f 45c
4,623 métiers à tisser.....	924 60
93 machines à imprimer.....	1,860 00
Industries diverses.....	950 00
TOTAL.....	8,438 05

Cette société a pour objet :

1° De concilier les différends qui peuvent s'élever, entre ouvriers et patrons, à l'occasion des accidents de fabriques, par l'intervention d'une commission d'arbitrages, librement acceptée par les parties, et opérant sans frais;

2° D'étudier les mesures propres à diminuer la fréquence de ces accidents et à en atténuer la gravité; de recommander et de propager les procédés et appareils ayant pour effet de sauvegarder la vie des ouvriers; d'encourager les recherches poursuivies dans cette direction.

L'association entretient un personnel spécial, qui se tient au courant des accidents qui viennent à se produire, des causes qui les ont amenés, des inventions ayant pour objet de les éviter, et veille à l'application des méthodes de travail présentant les meilleures garanties de sécurité. Elle distribue des prix aux personnes qui ont concouru à la création ou au développement de ces méthodes. Chaque année elle publie un bulletin, dans lequel il est rendu compte des opérations de l'année écoulée, des accidents survenus et des moyens proposés pour en diminuer la fréquence.

M. Engel-Dolfus, président et secrétaire de la société, avait exposé, dans la classe 54, une série de modèles des principaux appareils de sûreté recommandés par l'association. Le dessin ci-après (fig. 83) et la légende qui y est jointe présentent, en un résumé

succinct, l'ensemble des études auxquelles la société s'est plus particulièrement attachée.

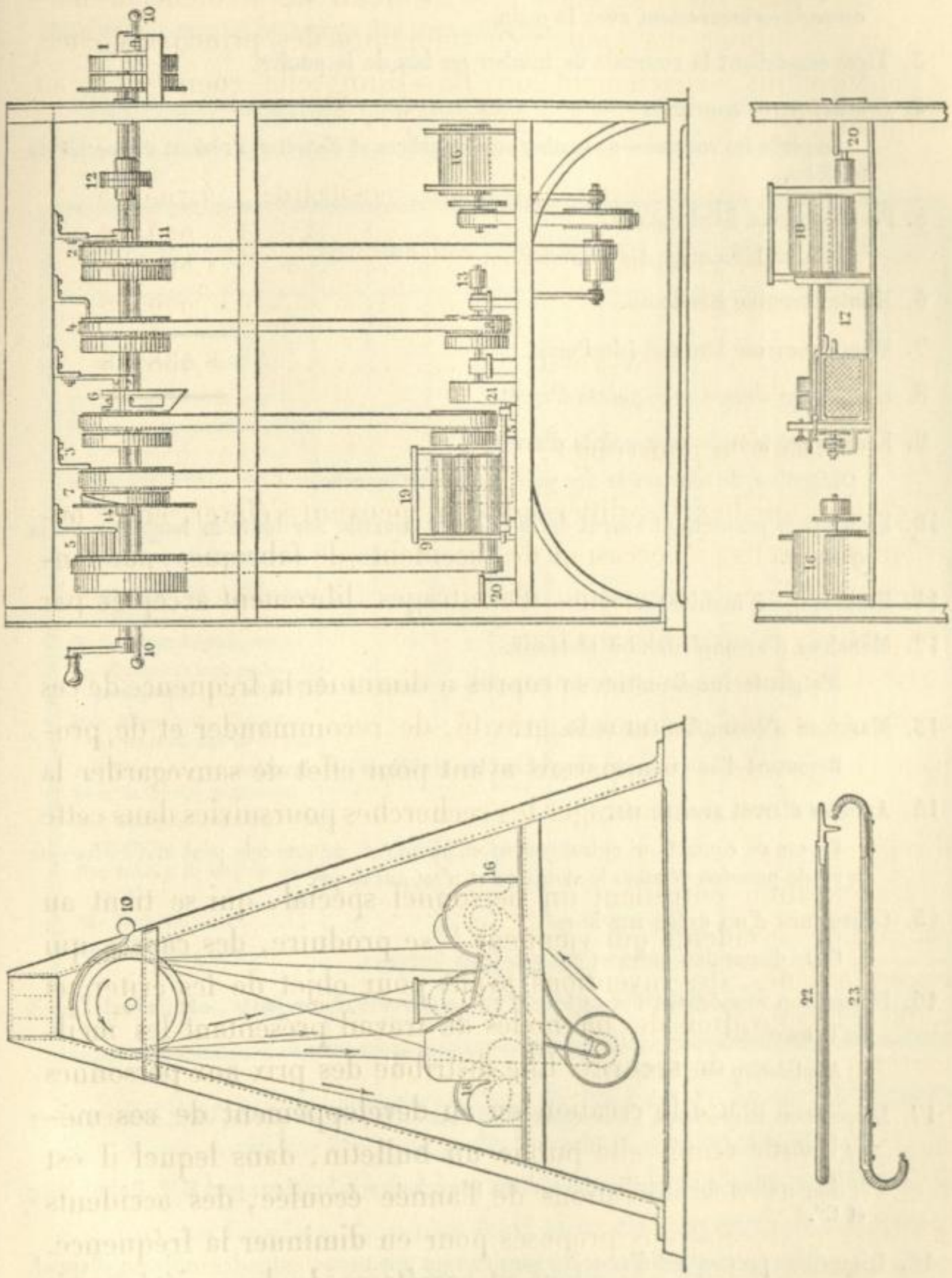


Fig. 83. — Spécimen des appareils de sécurité exposé par M. Engel-Dolfus.

LÉGENDE EXPLICATIVE.

(Les numéros de la légende correspondent aux appareils fixés sur le bâti-modèle.)

1. Poulie folle, montée sur douille indépendante de l'arbre moteur.

En cas de grippement, la machine n'est pas mise en mouvement.

Application : Commande d'une machine.

Gr. VI. — Cl. 54.

2. Poulie folle, montée sur douille indépendante et concentrique à l'arbre.

Cette disposition empêche le grippement de la poulie sur l'arbre, et permet d'arrêter complètement une courroie. De cette façon, pour embrayer, on est obligé de mettre la courroie en mouvement avec la main.

3. Tiges empêchant la courroie de tomber en bas de la poulie.

4. Crochet porte-courroie.

Empêche les courroies de tomber sur les arbres et clavettes. Prévient des accidents terribles.

5. Porte-courroie Biedermann.

Facilite le montage des courroies.

6. Monte-courroie Baudouin.

7. Monte-courroie Durand (de Paris).

8. Embrayage simple avec points d'arrêt.

9. Embrayage simple avec points d'arrêt.

Obligation de soulever la tige pour la mise en marche.

10. Embrayage permettant l'arrêt de la mise en marche sur toute la longueur de la machine.

11. Embrayage à manivelle.

12. Manchon d'accouplement à plateaux.

N'a pas les inconvénients du manchon ordinaire à clavettes.

13. Manchon d'accouplement ordinaire.

Recouvert d'une capsule empêchant les accidents de clavettes.

14. Anneau d'arrêt avec sa vis.

En cas de contact, ni entraînement, ni blessures, comme cela peut arriver lorsque la vis de pression dépasse le manchon et n'est pas noyée.

15. Couverture d'un arbre sur le sol.

Cette disposition prévient des accidents terribles.

16. Disposition empêchant l'ouverture d'un couvercle, d'une porte, etc., avant l'arrêt de la machine.

Application aux batteurs.

17. Disposition empêchant l'ouverture d'un couvercle, d'une porte, etc., avant l'arrêt de la machine.

Application dite «grille de sûreté» pour bancs à broches, par MM. Dolfus-Mieg et Cie.

18. Disposition permettant d'engager sans danger une nappe entre des rouleaux d'appel.

Application aux batteurs.

19. Dispositions préventives pour calandres, laminoirs, etc.

20. Dispositions empêchant les accidents des scies circulaires.

Application par MM. Dolfus-Mieg et Cie à un cas spécial.

21. Modèle de couvre-engrenages.

Couverture qu'il serait dangereux d'enlever pendant la marche de la machine.

22. Crochet monte-courroie.

23. Crochet pour le nettoyage des transmissions.

Quant aux résultats obtenus par l'association, ils résultent des chiffres portés au tableau ci-après :

ACCIDENTS.	1867.	1868.	1869.	1870.	1871.	1872.	1873.	1874.	1875.	1876.	TOTAUX.
ACCIDENTS CLASSÉS D'APRÈS LEUR GRAVITÉ.											
Ayant occasionné la mort...	2	3	1	2	1	"	1	"	1	"	11
Perte ou amputation d'un bras.....	"	1	1	2	"	1	1	1	"	"	7
Autres blessures.....	11	24	14	10	7	14	10	12	4	17	123
ACCIDENTS CLASSÉS D'APRÈS LES CIRCONSTANCES.											
Glissement ou projection d'objets.....	1	1	1	1	"	1	"	1	"	"	6
En maniant des courroies...	"	2	1	2	2	2	"	1	"	"	10
En dérogeant aux règles de prévoyance.....	"	2	5	1	"	"	"	4	"	4	16
Par distraction, étourderie ou imprudence de la victime.....	4	13	7	7	2	3	5	6	5	3	55
Idem de tierces personnes..	3	"	2	2	"	"	"	"	"	1	8
En nettoyant pendant la marche.....	2	7	"	"	3	4	5	1	"	3	25
Par défauts de moyens préventifs.....	1	3	"	1	1	3	1	"	"	5	15
Par l'ivresse.....	1	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1
En jouant.....	1	"	"	"	"	2	1	"	"	1	5
TOTAUX.....	13	28	16	14	8	15	12	13	5	17	141

Les effets bienfaisants résultant de l'action de la société ressortent d'une manière frappante de l'examen de ce tableau :

Les trois premiers exercices ont donné lieu à 57 accidents; le nombre des broches abonnées était alors en moyenne de 450,000, ce qui fait environ 4 1/4 accidents par an et pour 100,000 broches.

Dans les trois derniers exercices, le nombre moyen des broches était de 780,000, et le nombre des accidents est tombé à 35, soit 1 1/2 accident par an et pour 100,000 broches.

Gr. VI. — Cl. 54.

Ainsi le nombre des accidents, toutes choses égales de part et d'autre, a été réduit en dix années dans la proportion de 3 à 1. Ces chiffres se passent de tout commentaire.

C'est par de pareilles institutions, c'est en veillant avec une sollicitude paternelle au bien-être, à la sécurité, à la moralité de leurs plus modestes serviteurs, que les chefs d'industrie de Mulhouse ont su réaliser cette admirable solidarité, qui réunit patrons et ouvriers dans une famille commune, et donne aux opérations industrielles une assiette si large et si solide. Certes, il existe dans tous les pays des patrons qui s'intéressent au sort de leurs subordonnés, qui s'efforcent d'écarter d'eux le malheur, de les encourager et de les soutenir. Mais bien rares sont les exemples d'une charité aussi généreuse, aussi ingénieuse, aussi efficace.

En décernant à ces nobles travaux la plus haute récompense dont il disposait, le jury de la classe 54 n'a fait que traduire les sentiments de tous ceux que préoccupent les graves problèmes de l'organisation du travail. A l'unanimité, il a décidé que le nom de M. Engel-Dolfus occuperait la place d'honneur sur la liste de mérite des exposants de la mécanique générale, et cette décision a été ratifiée par les jurys supérieurs.

Nous arrivons maintenant à la *Bibliothèque technologique du groupe VI de l'Exposition.*

Cette bibliothèque était installée dans un bâtiment spécial, élevé dans le parc du Champ de Mars, vis-à-vis de l'École militaire. Elle se composait des ouvrages techniques se rapportant aux classes 50 à 67, qui constituent le groupe VI. Chacune des classes fait l'objet d'une division du catalogue; en outre, une division finale est affectée aux polygraphes, et comprend les périodiques scientifiques et industriels, le dessin, la législation industrielle, etc.

La division du catalogue afférente à la classe 54 comporte 106 ouvrages; en outre, parmi les polygraphes, 50 environ traitent de sujets relatifs à la mécanique théorique ou industrielle; soit en tout 155 à 160 ouvrages ressortissant à la mécanique générale.

Considérée comme exposition, la Bibliothèque présentait un ca-

ractère particulier; une grande partie des livres qui en garnissaient les rayons étaient prêtés, soit par des établissements publics, soit par des éditeurs, soit par des particuliers; un petit nombre de livres seulement avaient été envoyés par leurs auteurs.

Ainsi, d'une manière générale, les auteurs n'étaient pas exposants, ce qui restreignait singulièrement le nombre des récompenses à décerner à la Bibliothèque. Et même, en s'en tenant aux livres exposés par leurs auteurs, la plupart d'entre eux ne pouvaient être portés sur la liste des récompenses. Souvent ces livres n'étaient que des annexes à des expositions figurant dans les galeries du palais: tel est le cas des brochures de la maison Belleville et Cie sur les générateurs qu'elle construit, de l'ouvrage de M. Farcot sur le servo-moteur, du catalogue de la maison Piat, etc. D'autres fois le caractère même de l'auteur excluait toute idée de récompense; ainsi il eût été fort déplacé de décerner une médaille à l'Académie des sciences, à M. Hirn, à M. Laboulaye, etc., à propos d'ouvrages qui avaient été prêtés dans le but évident d'enrichir la Bibliothèque, et non pour disputer des prix aux autres exposants.

Après avoir mûrement étudié cette question, le jury s'en est tenu à la règle suivante : ne décerner des récompenses qu'aux ouvrages exposés par leurs auteurs, et portant le caractère de publications d'un usage industriel.

C'est ainsi qu'il a été conduit à accorder des récompenses élevées aux magnifiques publications de M. Armengaud aîné, qui sont consultées chaque jour dans tous les ateliers de construction; à M. Denfer pour son ouvrage sur les chaudières à vapeur, traité pratique d'une grande valeur par l'exactitude des renseignements qu'il renferme; à M. G. Claudel, dont les excellents aide-mémoire sont dans les mains de tous les contremaîtres, et sont consultés et traduits dans tous les pays industriels. Il a décerné des médailles d'argent à M. Abt (Roman), d'Arau (Suisse), pour une excellente statistique des machines et chaudières à vapeur de la Suisse en 1877, travail extrêmement consciencieux, qui peut servir de modèle aux recherches de cette nature, et résume, sous une forme claire et succincte, un nombre considérable de renseignements du plus haut intérêt pour l'art des constructions.

Gr. VI. — Cl. 54.

Il n'a pas oublié M. G. Leloutre, le collaborateur de M. Hirn, qui a publié, dans un mémoire substantiel, le compte rendu de ses recherches expérimentales et analytiques sur les machines à vapeur. Enfin il a compris sur sa liste des rédacteurs des journaux techniques les plus répandus, un certain nombre de sociétés industrielles, qui avaient envoyé à la Bibliothèque des collections de leurs Comptes rendus et de leurs Annales, et diverses monographies et ouvrages traitant de la construction mécanique.

La Bibliothèque technologique présentait le plus grand intérêt par la variété des renseignements qu'elle mettait à la disposition des visiteurs. On y trouvait, non seulement les ouvrages techniques modernes, mais encore des documents anciens, fort précieux et qu'il est souvent difficile de se procurer, tels que les ouvrages de Navier, du général Morin, de Faujas de Saint-Fond, d'Ebelmen, etc., et puis des collections complètes des Annales des corps techniques et sociétés scientifiques, les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les Annales des Mines et des Ponts et Chaussées, la collection des brevets d'invention, les bulletins de la Société d'encouragement, les rapports officiels sur les Expositions universelles antérieures, depuis celle de Londres en 1851, jusqu'à celle de Paris en 1867. Il y avait là un vaste champ d'études et de recherches, que le public n'a peut-être pas apprécié à toute sa valeur, mais qui a été d'un précieux secours pour plus d'un travailleur sérieux.

Le *Congrès international du génie civil* fut autorisé par arrêté du Ministre de l'agriculture et du commerce en date du 6 juillet 1876. Ses séances ont été tenues au palais du Trocadéro, du 5 au 14 août 1878. Des nombreux sujets qui y furent traités et discutés avec un talent et une compétence remarquables, nous détachons les suivants, qui se rapportent plus spécialement à la mécanique générale :

Séance du 7 août. — M. Cornut : Sociétés de surveillance des appareils à vapeur.

M. Casalonga : Unification dans les dimensions des organes de machines. Gr. VI. — Cl. 54.

M. Ed. Bourdon : De l'unité du cheval-vapeur.

Séance du 9 août. — M. Mallet : Machines pour tramways.

Séance du 13 août. — M. Armengaud jeune : Transformation du travail mécanique en chaleur; application à la production industrielle du froid.

Séance du 14 août. — M. H. Fontaine : Moteurs domestiques.

Enfin, parmi les conférences qui furent faites au palais du Trocadéro pendant l'Exposition, il convient de citer les suivantes :

Conférence du 8 juillet. — M. de Fréminville : Sur les machines Compound de l'Exposition universelle de 1878, comparées aux machines Corliss.

Conférence du 14 août. — M. Jules Armengaud jeune : Sur les moteurs à gaz de l'Exposition de 1878.

Conférence du 28 août. — M. Abel Pifre : Sur l'utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire.

CHAPITRE XIII.

QUESTIONS GÉNÉRALES ET RÉSUMÉ.

Sommaire. — Objet et division du présent chapitre.

Caractère de l'exposition de la mécanique générale. — Perfectionnement plutôt qu'invention. — Diffusion des notions fondamentales de la mécanique. — Tendance aux procédés scientifiques.

Revision des objets exposés par catégories. — Générateurs de vapeur. — Machines à vapeur. — Machines thermiques diverses. — Moteurs animés. — Moteurs électriques. — Machines hydrauliques. — Machines à air. — Transmission du travail. — Appareils de levage. — Mesure des forces et du travail. — Aérostation. — Exécution des organes de machines.

Coup d'œil sur les expositions des différentes nations. — France. — Angleterre. — États-Unis. — Suisse. — Belgique. — Autriche-Hongrie. — Pays du nord de l'Europe. — Russie. — Pays du midi de l'Europe. — Pays divers et colonies.

Caractères communs aux expositions des divers pays.

Données statistiques sur la construction mécanique en France. — Conséquences à en déduire. — Concurrence étrangère.

Marché extérieur. — Exemples de la Suisse et des États-Unis.

Marché intérieur. — Question des transports. — Frais d'élaboration. — Spécialisation du travail.

Questions ouvrières. — Division du travail. — Les contremaîtres. — Le travail en chambre. — Les grèves. — Institutions de prévoyance. — Participation aux bénéfices.

Questions d'éducation professionnelle. — Écoles d'ouvriers. — Écoles d'ingénieurs.

Dans les chapitres précédents, nous avons analysé les différentes parties de l'exposition de la mécanique générale; l'objet du présent chapitre est de résumer ces éléments épars, d'en faire la synthèse, de déduire, s'il est possible, les idées générales qui se dégagent de ces études de détail.

Un travail de cette nature est sans doute nécessaire comme conclusion de notre rapport. Toutefois il présente de telles difficultés, que nous n'eussions pas osé l'entreprendre, si nous avions dû en

Gr. VI. — Cl. 54.

tirer les éléments de notre propre fonds. Nous avons heureusement, pour nous soutenir, le souvenir des délibérations du jury de la classe 54, des conversations si pleines d'intérêt et d'élévation, qui s'échangeaient entre ces ingénieurs profondément expérimentés et habiles à saisir le point de vue philosophique des questions soulevées tant au cours des débats que dans les entretiens intimes. Ce sont les idées émises par les membres du jury, que nous avons cherché à nous approprier, et que nous allons essayer de traduire.

Voici l'ordre qui sera suivi dans cette étude :

Nous commencerons par jeter un coup d'œil d'ensemble sur l'Exposition, et par passer une revue sommaire et générale des principales catégories d'objets exposés.

A la suite, viendra un examen comparatif des expositions des diverses nations qui se trouvaient représentées au Champ de Mars.

Nous terminerons par quelques courtes réflexions inspirées par cet examen comparatif.

En matière de mécanique, l'Exposition de 1878, comparée à ses devancières, semble présenter un caractère nettement tranché : aux Expositions précédentes, les inventions nouvelles occupaient une place considérable ; à l'Exposition de 1878, il en est tout autrement : on y trouve peu d'idées absolument originales ; les mécanismes exposés ne sont guère que des combinaisons de principes bien connus et déjà mainte fois appliqués. Non seulement, dans ces vastes galeries, on eût cherché en vain quelqu'une de ces grandes découvertes qui changent la face de l'industrie, mais même dans un ordre plus modeste, les inventions d'une portée un peu générale faisaient presque absolument défaut.

Est-ce à dire pour cela qu'aucun progrès n'ait été accompli, en matière de mécanique, pendant les dernières années qui se sont écoulées? Bien loin de là! Les machines exposées en 1878 sont, dans l'ensemble, mieux combinées, mieux entendues qu'en 1867 ; leurs proportions sont meilleures, leur exécution beaucoup plus parfaite. En somme, un chemin considérable a été parcouru. Mais ce n'est pas par de grandes inventions que ce progrès s'est

fait sentir, c'est par mille perfectionnements, portant sur tous les détails des organes; et, pour être moins brillants, les résultats obtenus ainsi n'en ont pas moins une importance énorme. On peut dire que l'industrie des machines est sortie de la période embryonnaire; elle a cessé de projeter de nouveaux germes, mais elle se développe vigoureusement, comme une moisson en pleine maturité.

Un fait intéressant à constater, c'est l'absence de ces inventions déraisonnables et excentriques, qui font trop souvent tache dans les expositions, de ces machines conçues au mépris des principes fondamentaux de la mécanique, et qui trahissent dans leur auteur le défaut des connaissances les plus élémentaires. La sévérité des jurys d'admission y était sans doute pour quelque chose; resserrés par les dimensions étroites des superficies qui leur étaient attribuées, ces jurys ont dû repousser rigoureusement toute demande qui se présentait sans garantie suffisante, et l'Exposition a beaucoup gagné à ces exclusions. Mais il est également indubitable que la diffusion de l'instruction technique a eu la meilleure part dans cette épuration; les notions exactes, indispensables à tout mécanicien, se sont largement vulgarisées; elles forment la base de l'instruction professionnelle, non seulement du chef d'industrie et de l'ingénieur, mais encore du contremaître et de l'ouvrier. D'ailleurs, à mesure qu'elles se répandaient davantage dans le personnel de l'industrie, les connaissances scientifiques gagnaient aussi en étendue et en solidité, et prenaient largement pied dans les ateliers. La théorie mécanique de la chaleur notamment est aujourd'hui connue et pratiquée, au moins dans ses principes essentiels, par tous les ingénieurs mécaniciens; cette science toute nouvelle a exercée une influence réelle sur l'art des constructions mécaniques.

Ce concours de la théorie et de la pratique, cette habitude des calculs exacts et des mesures précises, dans l'établissement et l'entretien des machines, est devenu un fait général, que nous avons déjà plus d'une fois rencontré, et qui donnait à l'Exposition de 1878 une physionomie toute particulière.

Gr. VI. — Cl. 54.

Ces caractères généraux de l'industrie moderne se retrouvent, plus ou moins nettement dessinés, dans toutes les parties de l'Exposition, dont nous allons faire maintenant une rapide revue. Nous suivrons dans ce résumé le même ordre que dans le corps du présent rapport, et nous commencerons par les *générateurs de vapeur*.

Les dispositions d'ensemble des générateurs de vapeur qui figuraient à l'Exposition ne diffèrent pas sensiblement de celles précédemment usitées; on ne trouve qu'un petit nombre de dessins de chaudières qui soient à peu près nouveaux; la pratique d'ailleurs n'en a pas encore sanctionné la valeur. Par contre, les bonnes proportions entre les divers éléments de la chaudière, surface de chauffe, surface de grille, section des carneaux et de la cheminée, etc., sont en général mieux observées que par le passé. Les idées des constructeurs se sont précisées sur le rôle que joue chacun de ces éléments. Il en résulte une tendance manifeste à spécialiser les divers types de chaudières, et à établir dans chaque cas une corrélation plus exacte entre les fonctions du générateur et les conditions du service qu'il doit faire. Ainsi les chaudières à grand réservoir d'eau sont les plus usitées pour les importantes manufactures, les chaudières à petit réservoir d'eau sont appliquées à tous les cas où la prompte montée en pression est indispensable; et, entre ces deux extrêmes, se placent tous les degrés intermédiaires de l'échelle. La chaudière tubulaire et ses dérivées sont devenues fort en usage dans les grandes villes, et dans tous les cas où l'on est gêné par les dimensions des locaux; les difficultés que ces sortes de chaudières présentent au nettoyage sont souvent évitées par les foyers amovibles, qui sont de plus en plus en faveur.

Le rendement des générateurs ne s'accroît qu'avec beaucoup de lenteur, et les progrès que l'on peut constater sont dus, pour une grande part, aux meilleures proportions des organes, et surtout à la plus grande habileté des chauffeurs; il ne paraît pas qu'à cet égard aucun type de chaudière ait une supériorité bien marquée sur les types rivaux.

Un progrès incontestable, c'est l'emploi, chaque jour plus répandu, des réchauffeurs d'eau d'alimentation; ces appareils éco-

nomisent une fraction notable du calorique jeté dans la cheminée, et malgré les causes de détérioration qui leur sont inhérentes, ils présentent souvent de sérieux avantages. Gr. VI. — Cl. 54.

Les chaudières de l'Exposition étaient en général bien exécutées, quelques-unes d'une exécution supérieure. La tôle d'acier n'est pas encore employée d'une manière générale; la rivure par pression hydraulique tend à se répandre, et donne d'excellents résultats; il faut noter quelques tentatives de substituer la soudure des tôles à l'assemblage par rivets; la grosse question de la facilité des nettoyages et de l'entretien est, en général, mieux traitée par les constructeurs, cependant il y a encore à cet égard beaucoup à désirer. Pour ce qui concerne les procédés propres à prévenir les incrustations, on n'a guère à constater que des succès partiels. Les causes de détérioration des chaudières en service sont encore mal connues pour la plupart, et l'on ignore le plus souvent les remèdes à y apporter, mais il y a eu de bonnes études sur ce sujet important.

La question de l'emploi de la vapeur surchauffée, si intéressante au point de vue théorique, n'a pas fait de progrès.

Les accessoires de chaudière sont en général d'une bonne construction, mais ils sont trop souvent mal entretenus. Les injecteurs sont d'un usage courant, et les types d'injecteurs tendent à se spécialiser suivant les services à faire.

Les propriétés des combustibles industriels sont connues avec une précision de plus en plus grande; on sait mieux consacrer chaque combustible à l'emploi qui lui convient particulièrement. La nomenclature des combustibles usuels s'est d'ailleurs sensiblement étendue. Il convient de noter la substitution de la houille au coke dans les foyers des locomotives, l'usage de plus en plus répandu du gaz d'éclairage pour la production des petites forces, l'utilisation des poussiers de houille pour la fabrication des agglomérés, l'emploi du coke pour les foyers des chaudières qui fonctionnent dans les grandes villes, celui de la paille pour certaines locomobiles agricoles. Par contre, les combustibles liquides sont presque abandonnés en Europe.

Gr. VI. — Cl. 54.

Si les formes générales des foyers n'ont pas changé, les proportions en sont généralement meilleures. On donne, quand c'est possible, la préférence aux grandes grilles, à combustion modérée. Les appareils dits *fumivores* ont succombé les uns après les autres ; il ne reste guère debout que l'appareil Ten-Brinck, certains souffleurs ayant pour objet de faire disparaître momentanément la fumée, puis des grilles destinées à des usages spéciaux.

On voit qu'en ce qui concerne la production de la vapeur, le progrès ne s'est fait que par le détail, mais il ne laisse pas que d'être, en somme, fort important. Il est dû en grande partie aux notions plus saines, qui se sont vulgarisées, relativement à la combustion, à la transmission de la chaleur et au mode d'emploi des combustibles. Le mérite en revient aux études persévérantes d'un certain nombre de chercheurs de tous les pays, parmi lesquels il faut citer M. Grüner, M. Sainte-Claire Deville et les expérimentateurs de Mulhouse. De leur côté, les associations de propriétaires d'appareils à vapeur ont rendu à cet égard de sérieux services, en même temps que leur intervention a eu pour effet d'améliorer le fonctionnement économique des chaudières, et de réduire le nombre des explosions.

Arrivons aux machines à vapeur, et résumons les principaux changements survenus depuis l'Exposition de 1867.

Au point de vue du dessin d'ensemble, nous pouvons constater l'abandon presque complet, pour les cas ordinaires, des dispositions bizarres et compliquées, et le retour général à deux types principaux : la machine verticale à balancier, avec détente Woolf, et la machine horizontale à connexion directe, simple ou à deux cylindres; une meilleure entente des formes et des conditions de résistance; l'usage de plus en plus répandu des bâtis dits *américains*.

Les matériaux, surtout les métaux, sont mieux étudiés, mieux appropriés à l'emploi; l'ajustage et le travail aux machines-outils ont beaucoup gagné en précision.

Il y a tendance à augmenter progressivement la pression de la vapeur et la vitesse de marche.

Les anciens systèmes de distribution par tiroirs sont toujours en faveur; mais la distribution par déclenchement, appliquée aux glissières et aux soupapes, a pris une large extension, en même temps que l'on revenait aux soupapes à deux sièges mues par des excentriques à ondes. La détente par échelons, qui était à peine pratiquée en dehors des machines à balancier, s'est aujourd'hui étendue aux machines horizontales, et a pris des développements considérables. Rappelons aussi les belles expériences de Mulhouse, et le jour tout nouveau qu'elles ont jeté sur la théorie de la machine à vapeur.

Au point de vue de la consommation de combustible, les résultats obtenus sont les suivants : avec de bonnes machines et de bonnes chaudières, on obtient *un cheval-vapeur par kilogramme de houille brûlée en une heure.* Ce chiffre, qui était exceptionnel il y a peu d'années, est couramment atteint aujourd'hui, et peut servir de caractéristique à la machine à vapeur de notre époque.

En ce qui concerne les diverses combinaisons de machines et de chaudières, on arrive aux conclusions suivantes :

Les machines mi-fixes, surtout pour les moyennes puissances, sont de plus en plus en usage; les machines locomobiles se répandent avec beaucoup de rapidité, et s'appliquent aux usages les plus variés. Quelques tentatives ont été faites pour introduire la machine à vapeur dans les petits ateliers, sous forme de moteur domestique.

Les pompes à vapeur pour les grands épuisements sont munies d'ordinaire d'un arbre de couche et d'un volant; pour les petits débits, la pompe à vapeur sans volant est plus en faveur. Les pompes à vapeur sans piston ont fait leur réapparition sous la forme du *pulsomètre.*

Les machines à vapeur dites *rotatives* sont de plus en plus abandonnées; elles sont remplacées par les machines à piston à grande vitesse de rotation.

Le servo-moteur et ses dérivés, appareils d'invention récente, ont atteint une grande perfection et se sont beaucoup répandus.

Gr. VI. — Cl. 54.

Ils sont couramment usités pour les manœuvres exigeant à la fois de la force et de la précision.

La théorie des régulateurs de vitesse n'est pas encore bien fixée; cependant un certain nombre de ces appareils, récemment imaginés, donnent dans la pratique de bons résultats; la mode est aux régulateurs à grande vitesse de rotation.

Les machines à air chaud sont entrées dans la pratique, mais, contrairement aux prévisions des premiers inventeurs, elles ne sont employées que pour de petites forces : la question d'économie du combustible a cédé le pas à celle de commodité d'emploi. Sous la forme de machines à explosion, avec le gaz d'éclairage comme combustible, elles se sont rapidement propagées, et, pour les faibles puissances, elles remplissent de plus en plus le rôle de moteurs domestiques. La théorie des machines à air chaud s'est singulièrement perfectionnée. Les machines à gaz d'éclairage atteignent un rendement thermique supérieur à celui des meilleures machines à vapeur. Rappelons les essais faits par M. Mouchot pour rendre directement utilisable la radiation calorifique du soleil.

L'emploi des moteurs animés n'a pas fait de progrès sensibles; on a essayé seulement d'atténuer les effets fâcheux des machines à coudre sur la santé des ouvrières.

Arrivons aux machines hydrauliques.

La construction des grandes pompes a fait l'objet de notables améliorations; grâce à une connaissance plus approfondie du jeu de ces machines et au perfectionnement des divers organes, on arrive à imprimer au piston de grandes vitesses, sans nuire au rendement ni à la durée. Les petites pompes sont généralement manufacturées d'une manière satisfaisante. Les pompes centrifuges sont largement entrées dans la pratique; leur construction et leur rendement se sont notablement améliorés. A la suite de perfectionnements sérieux, l'usage du bélier hydraulique a pris une certaine extension.

Les moteurs hydrauliques sont aujourd'hui établis avec une

grande perfection, et leur rendement est fort élevé. Mais l'utilisation des chutes d'eau est entravée dans notre pays par les embarras que suscite une législation surannée. Les turbines sont de plus en plus en faveur, et ont fait l'objet d'études nouvelles et ingénieuses. Les moteurs à colonne d'eau sont d'un usage assez fréquent pour les très fortes chutes; ils se sont répandus, comme moteurs domestiques, dans les villes où l'eau est abondante et canalisée sous de fortes pressions, et ont donné lieu à quelques dispositions nouvelles. Signalons l'utilisation des chutes d'eau souterraines pour mettre en mouvement des machines élévatoires.

Les machines agissant par l'action de l'eau sous de fortes pressions ont pris une extension considérable; elles rendent les plus précieux services et ont reçu des perfectionnements importants.

On possède aujourd'hui des compteurs d'eau qui donnent la mesure des débits, même sous pression, avec une exactitude suffisante pour la majorité des cas de la pratique.

Les machines à air comprimé sont devenues, depuis quelques années, d'un grand usage dans l'industrie, et sont employées à des travaux fort variés. Les perfectionnements considérables qu'elles ont reçus sont dus, pour une notable partie, à une connaissance plus exacte et plus générale des principes de la théorie mécanique de la chaleur. Les ventilateurs ont fait l'objet de quelques études intéressantes.

En ce qui concerne les transmissions funiculaires, l'usage des câbles télédynamiques s'est beaucoup répandu.

Les transmissions par courroies ont reçu de notables améliorations de détail; on tend à donner à ces transmissions une vitesse de marche de plus en plus grande. Les poulies pour courroies font l'objet d'une fabrication importante et perfectionnée. L'industrie a à sa disposition des courroies fort belles de très grandes dimensions; on commence à fabriquer, sur une grande échelle, des courroies en tissu caoutchouqué ou empâté d'enduits divers. Les trans-

missions par câbles en chanvre ou en coton sont assez nouvelles; elles sont appliquées avec avantage dans un grand nombre de cas.

La théorie cinématique des engrenages est depuis longtemps à peu près complète, mais l'exécution de ces organes est tous les jours améliorée; les roues d'engrenage sont aujourd'hui fabriquées, comme marchandise courante, par plusieurs maisons, et cette fabrication est très perfectionnée. Quelques appareils d'embrayage nouveaux rendent de bons services. L'embrayage électrique, qui semble avoir de l'avenir, n'a pas encore revêtu une forme tout à fait pratique.

L'eau et l'air comprimés sont de plus en plus en usage pour envoyer à distance et répartir la puissance motrice. La transmission électrique du travail a fait une réapparition, qui n'est pas sans intérêt, malgré les obscurités de cette solution, qui n'en est qu'à son début. Comme organes de transmission curieux, rappelons l'arbre flexible de Stow, qui se prête à de nombreuses applications.

Par un bon choix et un travail plus soigné des matériaux, par des méthodes de graissage plus parfaites, on est arrivé à réduire beaucoup les frottements dans les organes de machines. Le bronze phosphoreux pour coussinets et les huiles et graisses minérales employées comme lubrifiants donnent de bons résultats. Les paliers graisseurs sont fort en usage dans les ateliers.

Diverses matières et dispositions, nouvellement proposées, donnent de bons joints, soit entre surfaces fixes, soit entre surfaces glissantes. L'asbeste rend pour cet objet de bons services.

Pour le levage et la manœuvre des fardeaux, les crics et verrins sont toujours en usage, et sont ordinairement bien établis; le cric hydraulique est de plus en plus employé.

Les grands appareils de levage, manœuvrés à bras, à la vapeur, ou par pression hydraulique, sont aujourd'hui répandus sur tous les chantiers et tous les ateliers, et réunissent, à un degré élevé, la hardiesse dans la construction avec la promptitude et la sécu-

rité des manœuvres. La mécanique a pénétré dans les habitations privées sous la forme des ascenseurs, dont l'usage s'est fort répandu.

Les balances et bascules ne présentent que peu de dispositions nouvelles, mais la fabrication de ces appareils est en général satisfaisante.

Les expériences précises et les mesures délicates se pratiquent couramment dans les ateliers de construction. En vue des essais de matériaux, on construit des machines très puissantes et en même temps fort exactes. Les appareils de la physique, et notamment les enregistreurs automatiques de toute forme et de toute nature, sont employés journellement; les machines à vapeur sont essayées fréquemment à l'indicateur de Watt, qui est devenu fort maniable.

L'aérostation n'a pas fait de progrès bien appréciables, si ce n'est dans la confection des enveloppes de ballons.

Les organes des machines sont en général mieux proportionnés et mieux étudiés que par le passé; néanmoins il reste à cet égard beaucoup à faire, et les données expérimentales ou théoriques, nécessaires pour l'établissement rationnel des proportions des organes de machines, font encore trop souvent défaut.

Les machines-outils modernes donnent un travail de plus en plus économique et parfait.

Comme matière mise en œuvre, l'acier commence à se substituer au fer, et il est à croire que l'usage de ce métal prendra rapidement une grande extension, aussi bien dans la construction des machines que dans celle des chaudières.

Pour terminer cette revue, rappelons les expositions de ces belles associations, qui consacrent leurs efforts à l'étude des grands problèmes industriels et sociaux, et à l'amélioration du sort des ouvriers.

Après avoir parcouru l'exposition de la mécanique générale, en passant en revue ses grandes divisions techniques, il ne sera pas inutile de comparer entre eux les produits exposés par les diffé-

Gr. VI. — Cl. 54.

rentes nations, de retracer les caractères spéciaux qui distinguent les constructions suivant leur provenance, de rechercher les méthodes diverses usitées dans les divers pays, et d'en étudier les avantages relatifs.

Commençons par l'exposition des constructeurs français.

A toute époque les ingénieurs et ouvriers français se sont distingués par leur esprit inventif et l'abondance de leurs idées. Ces qualités se montraient fort développées à l'Exposition. Toutefois, et c'est là un fait qui a vivement frappé les étrangers, cette exubérance d'imagination était tempérée, et tenue pour ainsi dire en bride, par un sens pratique que jusqu'alors on avait rarement rencontré au même degré dans une exposition française. A l'étude des appareils exposés, on reconnaissait, plus que par le passé, la conception sage et bien pondérée, la bonne entente des problèmes à résoudre, de leurs conditions et de leurs difficultés; on constatait également une exécution toujours satisfaisante, souvent remarquable, dénotant chez l'ouvrier une excellente instruction professionnelle.

Il est en effet hors de doute que l'éducation mécanique de notre pays a fait, dans ces dernières années, des progrès importants, que les connaissances scientifiques indispensables aux mécaniciens se sont largement vulgarisées. Il est également certain que les bonnes méthodes de construction, le sentiment de la forme, l'habitude de l'attention et du soin dans les détails prennent chaque jour plus d'extension dans nos ateliers. A ce point de vue, nos constructeurs suivent de bien près leurs concurrents anglais, qui ont été pendant si longtemps leurs maîtres; quelques-uns mêmes n'ont rien à redouter de la comparaison avec les maisons les plus renommées du Royaume-Uni.

Quant à cette partie de l'étude des machines, d'une nature plus théorique, qui consiste à imaginer des dispositions nouvelles, à essayer des combinaisons inédites, et à calculer avec précision les effets des mécanismes, il semble que nos ingénieurs aient encore conservé leur supériorité. Mais, dans cette voie, les Anglais, à leur tour, ont fait des progrès considérables.

L'éducation des ingénieurs, en Angleterre, a un caractère plus exclusivement pratique que chez nous; c'est presque un apprentissage. On en trouvait la trace nettement marquée dans les anciennes machines anglaises; elles étaient solides, largement assises, bien agencées, d'un fonctionnement assuré, d'une manœuvre commode, mais souvent massives et peu économiques comme rendement. Depuis que les nécessités de la concurrence ont rendu les industriels plus exigeants, il semble qu'une évolution tende à se produire dans les procédés que les ingénieurs anglais apportent dans l'étude de leurs projets. Aujourd'hui la réception d'une machine un peu importante est toujours précédée d'essais précis, le rendement minimum est imposé par les marchés et fait l'objet de constatations contradictoires; les prix de vente sont vivement discutés et, par suite, la matière mise en œuvre doit être économisée.

On a bien vite compris, de l'autre côté du détroit, que, pour satisfaire à ces conditions nouvelles, l'instinct et le coup d'œil devenaient insuffisants, et qu'il était indispensable de recourir aux calculs délicats. C'est ainsi que peu à peu la théorie a pris une plus large place. Comme conséquence on voyait, dans l'exposition de l'Angleterre, des machines remarquables par leur rendement élevé, et d'une légèreté, d'une finesse de formes, qui pouvaient rivaliser avec les produits les plus élégants des autres nations. Du reste, suivant la tradition anglaise, l'exécution était presque toujours de premier ordre, et certaines pièces étaient de véritables merveilles de fonte, de forge et d'ajustage, dignes en tout de la vieille réputation des constructeurs anglais.

L'un des caractères les plus saillants de l'exposition des États-Unis, c'est une grande indépendance d'allures. Les traditions de formes, de dispositions, de fonctionnement, qui soutiennent et quelquefois entravent les constructeurs européens, n'existent qu'à peine chez ce peuple encore jeune. Aussi les machines, non seulement dans leur ensemble, mais encore dans le détail de tous leurs organes, présentent-elles un aspect étrange, qui étonne au premier abord; il faut un examen attentif pour se rendre compte de la valeur, souvent fort élevée, de ces combinaisons insolites,

Gr. VI. — Cl. 54.

pour bien comprendre tout ce qu'elles représentent d'habileté, d'ingéniosité, de recherches profondes, comment elles répondent à des problèmes qui nous sont inconnus, à des conditions différentes de celles auxquelles nous sommes habitués.

La conception des machines américaines est en général très hardie; elles marchent souvent à des vitesses considérables, qui peuvent sembler effrayantes, mais qui cependant sont sans danger, grâce à la précision de l'ajustage et à l'équilibration parfaite des organes. Chaque maison a ses types à elle, qui diffèrent de ceux du voisin, et auxquels d'ailleurs elle s'attache avec persévérance, en y apportant des perfectionnements incessants, sans en abandonner les traits fondamentaux; ces types sont d'ordinaire reproduits à un grand nombre d'exemplaires, ils sont composés d'organes établis par séries; la fabrication par grandes quantités de ces organes, identique entre eux, peut ainsi se faire mécaniquement et avec une extrême économie. Aussi les machines-outils ont-elles atteint, aux États-Unis, un haut degré de perfection; le travail à la lime y est beaucoup moins prodigué qu'en Europe, et celui des outils mécaniques est souvent assez parfait pour que tout ajustage ultérieur devienne superflu. Plusieurs des machines américaines, composées de pièces ajustées sans retouche, étaient de la plus magnifique exécution.

Une des qualités les plus remarquables de ces machines, c'est leur adaptation complète et précise au service qu'elles ont à faire : les ingénieurs américains sont habiles à discerner, dans chaque problème qui se présente, la question dominante; ils savent la dépouiller des conditions accessoires; une fois mise en pleine lumière, ils l'attaquent directement et la prennent corps à corps; grâce à une fécondité de moyens parfois extraordinaires, grâce à un certain dédain pour la tradition et les idées reçues, ils arrivent souvent à des solutions inattendues, et qui semblent tout d'abord excentriques, jusqu'à ce que le succès en ait démontré l'admirable justesse.

C'est ainsi, pour ne citer qu'un exemple, qu'ayant à résoudre ce problème, de gouverner la distribution des plus puissantes machines à vapeur au moyen d'un régulateur, dont le moindre frotte-

ment paralyse l'action, ils ont imaginé la détente par déclenchement. Peut-être pourrait-on retrouver des systèmes analogues dans d'anciennes machines européennes; mais, tandis qu'ailleurs ces systèmes étaient abandonnés et tombaient dans l'oubli, les Américains s'attachaient avec énergie à l'idée première, à l'idée juste; ils l'amélioraient, la perfectionnaient, et, même au prix de grandes complications de mécanisme, ils finissaient par la faire triompher, et par l'imposer de nouveau à l'Europe. Gr. VI. — Cl. 54.

Tous les visiteurs ont admiré la belle exposition mécanique de la Suisse. Ce petit pays nous offre un phénomène industriel bien digne d'être médité : assis au milieu des montagnes les plus inaccessibles de l'Europe, privé de toute communication par mer, n'ayant ni houille, ni minerai de fer, obligé de faire venir de loin et à grands frais ses matières premières, il se trouve dans les conditions naturelles les plus défavorables au point de vue de la construction métallique. Par quels efforts, par quels miracles d'organisation la Suisse est-elle parvenue à créer de nombreux et admirables ateliers, à se placer au premier rang dans la construction des machines, et à soutenir la concurrence avec les peuples voisins le plus richement dotés?

Les machines suisses se font remarquer par une parfaite entente de la qualité et de l'emploi des matériaux, une exécution supérieure, et la recherche tenace et opiniâtre des rendements élevés. Le caractère sérieux de ces belles constructions a été fortement goûté par le jury, et les hautes récompenses attribuées aux exposants suisses témoignent de l'estime profonde qui s'attache à cette exposition.

La plupart des machines importantes exposées par la Belgique se rattachaient à l'industrie des mines et de la métallurgie, et par suite ne rentraient pas dans les attributions de la classe 54 : c'est ainsi que les puissantes machines à vapeur, exposées par les grandes maisons belges, machines d'épuisement, machines d'exhaure, machines de laminoirs, locomotives, etc., dans lesquelles se trouvaient résumés les progrès récents, ont échappé à l'examen

Gr. VI. — Cl. 54.

du jury de la mécanique générale. Cependant il a eu à étudier quelques appareils d'un intérêt considérable; il a pu constater que l'art de la construction se maintient en Belgique à un niveau élevé, et que les maisons récemment créées ne le cèdent pas à leurs illustres devancières.

L'exposition de l'Autriche-Hongrie était fort remarquable; on a été surpris des progrès importants que cette nation a réalisés, dans ces derniers temps, en matière de constructions mécaniques; quelques-unes des machines autrichiennes et hongroises, par leur excellente conception et leur exécution irréprochable, pouvaient soutenir la comparaison avec les produits les plus parfaits des autres nations. L'Autriche et surtout la Hongrie sont restées longtemps en retard comme industrie; elles empruntaient à l'étranger les machines, le fer et l'acier dont elles avaient besoin; mais cette situation se modifie rapidement. Les richesses minérales que contient le sol de ces pays sont étudiées avec activité et mises en valeur, les usines métallurgiques et les ateliers de construction s'élèvent en différents points du territoire, et les méthodes perfectionnées prennent la place des procédés primitifs. On remarquait, dans les galeries, des pièces mécaniques de la plus belle exécution, et des échantillons résumant des recherches profondes et originales sur les qualités et l'emploi des métaux.

Les pays du nord de l'Europe, les Pays-Bas, la Suède, le Danemark et la Norwège exposaient d'excellents appareils, sagement conçus, bien exécutés, qui, sous leur aspect modeste, présentaient les qualités les plus sérieuses, et auxquels le jury a décerné avec raison des récompenses élevées.

La Russie est restée jusqu'à ce jour tributaire de l'étranger, en ce qui concerne les machines; il semble qu'elle se prépare avec activité à sortir de cette situation, si l'on en juge par son exposition, qui a été un véritable coup d'éclat. On ne s'attendait guère à y trouver des machines d'un grand mérite, aussi bien comme dessin que comme exécution, construites par des ateliers qui se sont élevés dans des pays reculés, sans ressources mécaniques, ni comme ma-

tières, ni comme main-d'œuvre. Du reste, le Gouvernement russe fait les plus grands efforts pour tirer le pays de sa torpeur industrielle; il s'attache à créer des ouvriers et des ingénieurs, et les procédés d'éducation qu'il met en œuvre sont d'une haute valeur, et ont excité l'admiration du jury. Gr. VI. — Cl. 54.

Dans les pays du midi de l'Europe, en Italie, en Espagne, en Grèce, quelques maisons importantes ont exposé de bons appareils mécaniques. Le Canada et Victoria ont envoyé des produits fort bien exécutés. Le Pérou, la République Argentine, l'Égypte et la Chine participaient à l'exposition de la classe 54. Enfin notre colonie algérienne présentait plusieurs machines remarquables, appropriées au climat et aux mœurs de ses habitants.

Chacune des expositions que nous venons de passer en revue présentait une physionomie spéciale, qui la distinguait des expositions voisines. Cependant ces différences, toutes marquées qu'elles fussent, étaient peut-être moins tranchées qu'en 1867. Il semble que les nuances se soient atténuées, qu'il s'opère un rapprochement graduel, facilité d'ailleurs par les communications multiples qui se sont établies entre toutes les nations. Nous avons déjà eu occasion de remarquer cette fusion, qui tend à se produire entre les procédés de nos constructeurs et ceux des constructeurs anglais; on eût pu citer d'autres exemples analogues. Chaque nation profite des progrès réalisés par les étrangers, et s'en sert pour obtenir à son tour de nouveaux perfectionnements. Les ingénieurs des différents pays vivent, moins que par le passé, dans l'isolement et à l'écart les uns des autres; ils sont en correspondance permanente, soit directe et cordiale, dans leurs lettres ou leurs voyages, soit indirectement, par les publications techniques et à l'occasion des expositions. Ce travail en commun est peut-être un des facteurs les plus puissants des magnifiques conquêtes que l'humanité fait chaque jour dans le domaine de la mécanique.

Au point de vue de la construction des machines, il est incontestable que les nations étrangères ont fait à la France de larges emprunts. Sans qu'il soit nécessaire de remonter bien loin dans le

Gr. VI. — Cl. 54.

passé, on sait que l'idée des grandes détentes dans les machines à vapeur est d'origine toute française, ainsi que les premiers procédés pratiques qui ont permis de les réaliser; il en est de même de l'application de l'analyse mathématique aux machines hydrauliques et à la résistance des matériaux, de même aussi des méthodes précises d'expérimentation et d'essai des moteurs thermiques, puis, dans un autre ordre d'idées, du marteau-pilon, ce puissant et indispensable engin de tout atelier qui met le fer en œuvre; sans parler de bien d'autres idées ou méthodes, qui, nées sur notre sol, se sont rapidement répandues dans le monde industriel.

De notre côté, nous ne sommes pas seulement redevables aux maisons anglaises des premières machines à vapeur qui ont été importées en France, et qui ont servi de point de départ et de modèles pour toutes les constructions ultérieures. Quand nos ateliers commençaient à se créer et à livrer leurs produits, c'est à l'Angleterre qu'ils ont emprunté outils, ouvriers et procédés. De nos jours encore, l'exemple des machines anglaises n'a cessé d'avoir sur nos constructeurs la plus grande influence, et a contribué dans une large mesure à leur donner cet instinct de la forme, cette éducation de l'œil, qui, il faut en convenir, a mis beaucoup de temps à s'acclimater dans notre pays. Aux Américains nous devons, entre autres choses, de nous avoir ramené la détente par déclenchement, qui a joué récemment un si grand rôle dans les machines à vapeur françaises; nous devons aussi à leur exemple de ne plus redouter les grandes vitesses, devant lesquelles le public français a longtemps reculé, malgré le succès de quelques machines rapides.

Il serait hors de propos de dresser ici la liste des emprunts et des prêts que nous avons faits à l'étranger; elle serait interminable; dans cet échange perpétuel, d'autant plus fécond qu'il est plus actif, chacun est à la fois débiteur et créancier, et tout le monde s'enrichit. Il sera plus utile de rechercher quelle est la situation actuelle de la construction mécanique en France, comparée aux industries similaires de l'étranger. Quelques chiffres

recueillis dans les statistiques officielles donneront à cet examen une base plus solide.

On peut prendre pour mesure de l'activité des constructions mécaniques dans notre pays le nombre et la puissance des machines à vapeur employées par l'industrie. Ces chiffres sont donnés, pour les quinze dernières années, dans les tableaux ci-après. Pour ne pas sortir du domaine de la classe 54, nous avons exclu de ces tableaux toutes les machines à vapeur employées sur les chemins de fer et sur les bateaux et navires, et nous n'y avons porté que les machines spécialement consacrées à l'industrie privée.

Le tableau chiffré est extrait des publications du Ministère des travaux publics. Le diagramme tracé à la suite en est la traduction graphique.

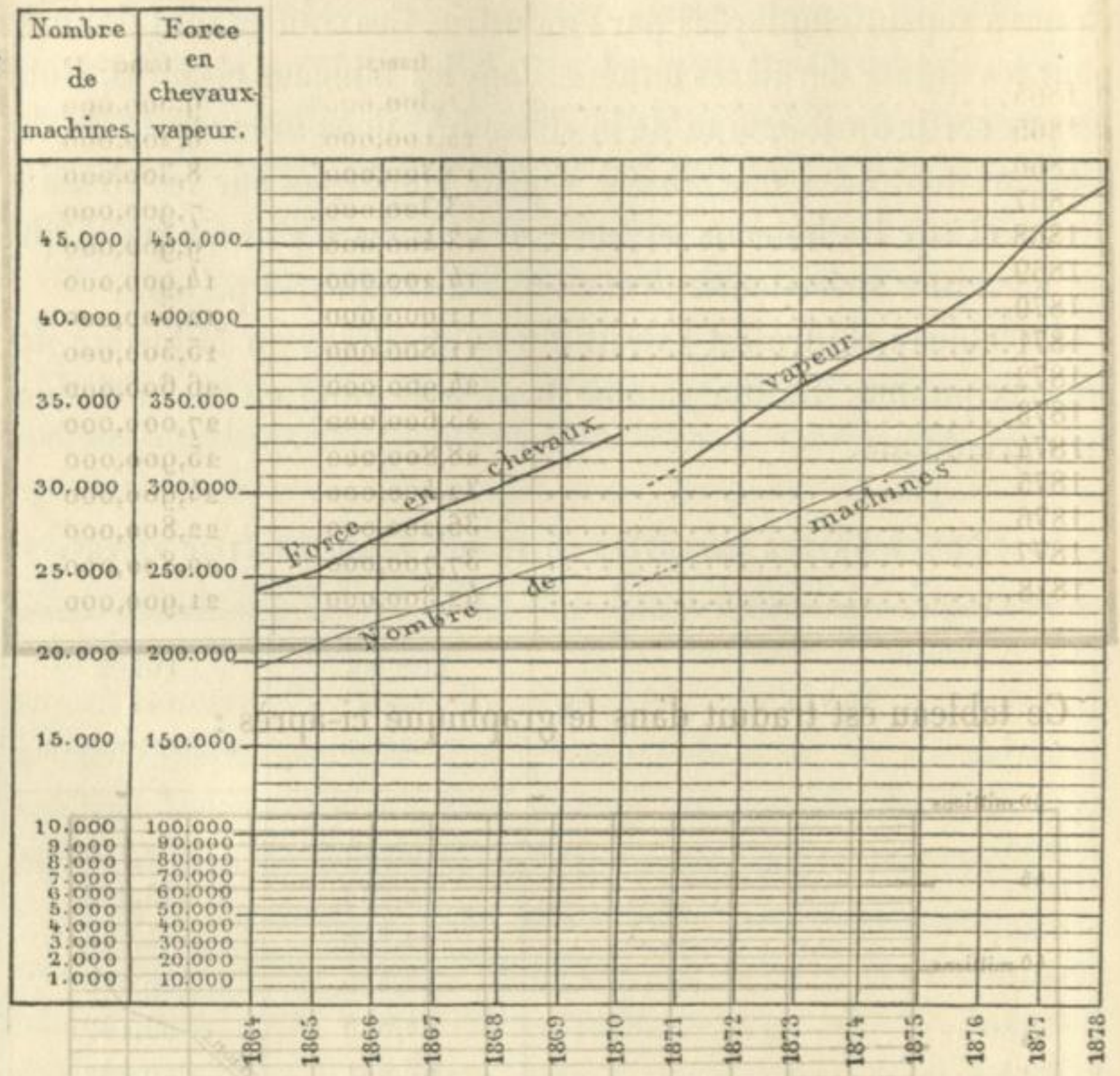
MACHINES À VAPEUR EMPLOYÉES EN FRANCE PAR L'INDUSTRIE PRIVÉE.

ANNÉES.	NOMBRE de MACHINES.	FORCE en CHEVAUX-VAPEUR.
1864	19,724	242,210
1865	20,947	255,673
1866	22,348	274,798
1867	23,435	289,410
1868	24,844	306,156
1869	26,221	320,447
1870	27,088	336,030
1871	26,146	315,884
1872	27,644	338,328
1873	29,194	362,474
1874	30,657	382,033
1875	32,006	400,756
1876	33,412	426,898
1877	35,826	466,084
1878	37,590	484,241

De 1864 à 1879 l'accroissement est de 17,866 machines et de 242,031 chevaux-vapeur; le nombre de machines et la puis-

Gr. VI. — Cl. 54.

sance totale ont sensiblement doublé. Il y a donc eu progrès importants, mais chez plusieurs nations voisines, l'activité de l'industrie s'est développée dans des proportions plus rapides encore.



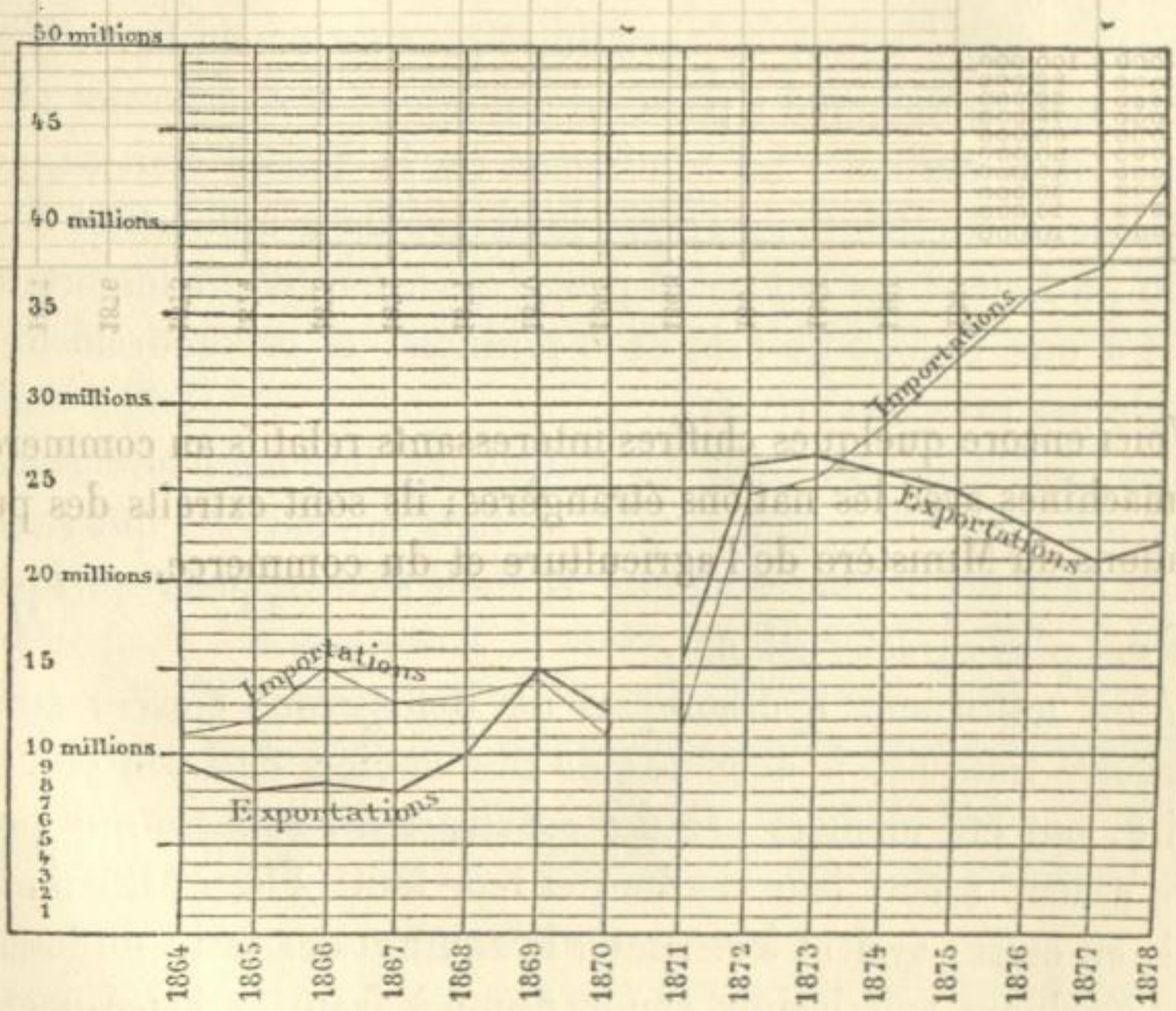
Voici encore quelques chiffres intéressants relatifs au commerce des machines avec les nations étrangères; ils sont extraits des publications du Ministère de l'agriculture et du commerce.

MÉCANIQUES ET MACHINES.

Commerce spécial de la France. (Valeurs réelles en francs.)

ANNÉES.	IMPORTATIONS.	EXPORTATIONS.
	francs.	francs.
1864	11,300,000	9,500,000
1865	12,100,000	8,200,000
1866	15,300,000	8,300,000
1867	13,300,000	7,900,000
1868	13,400,000	9,900,000
1869	14,200,000	14,900,000
1870	11,000,000	12,600,000
1871	11,800,000	15,500,000
1872	24,900,000	26,600,000
1873	25,600,000	27,000,000
1874	28,800,000	25,900,000
1875	32,400,000	24,900,000
1876	36,200,000	22,800,000
1877	37,700,000	20,800,000
1878	42,300,000	21,900,000

Ce tableau est traduit dans le graphique ci-après :



Gr. VI. — Cl. 54.

Les conséquences à déduire de l'examen de ces tableaux ne laissent pas que d'être assez attristantes. Il en ressort clairement que, dans la lutte avec l'étranger, nos nationaux ont eu souvent le dessous. Les importations n'ont cessé de s'accroître avec une extrême rapidité, surtout dans ces dernières années; en moins de huit ans elles ont triplé; les exportations au contraire, après avoir atteint un maximum pendant les années d'activité exceptionnelle de 1872 et 1873, n'ont cessé de décroître depuis cette époque, et ne sont plus équivalentes aujourd'hui qu'à la moitié des exportations. Ainsi, non seulement nous envoyons de moins en moins nos machines à l'étranger, mais encore nos constructeurs se laissent parfois supplanter, même pour la fourniture de notre propre outillage industriel.

Serrons la question de plus près, et voyons quelle est la part de chacun de nos voisins dans cet échange de produits mécaniques.

L'Angleterre n'a cessé de nous fournir de ses machines; elle nous en envoyait chaque année pour 10 millions en moyenne avant 1870; ce chiffre s'élève aujourd'hui à plus de 16 millions. L'importation de la Belgique a passé de 2 millions et demi avant 1870 à plus de 5 millions. Le contingent de la Suisse était naguère insignifiant; il atteint, en 1878, le chiffre de 2 millions et demi. Enfin les États-Unis ont passé progressivement d'une importation nulle à une somme de près de 4 millions, et ce mouvement ne semble pas près de s'arrêter.

Les indications résultant des statistiques sont malheureusement confirmées par un grand nombre de faits industriels, qui se sont passés dans ces dernières années. Il suffit d'en rappeler quelques-uns des plus caractéristiques.

Ainsi les usines hydrauliques de Bellegarde, élevées sur le territoire français, à deux pas de nos ateliers de Lyon et de la Loire, ont été montées par des constructeurs suisses, qui peut-être avaient acheté leur charbon et leur fonte à Saint-Étienne, et qui, en outre, avaient à remonter le courant des tarifs de douane. Les machines américaines commencent à franchir l'Océan et les

lignes de douanes, et à se répandre sur nos marchés. On pourrait citer encore d'autres exemples analogues.

Sans doute, à ces insuccès de la construction française, on aurait le droit d'opposer quelques belles victoires; mais il serait puéril de se dissimuler que, dans son ensemble, l'état actuel de notre industrie mécanique laisse à désirer. Sans être encore menaçante, la concurrence étrangère devient sérieuse et doit être attentivement surveillée.

Il semble que, sur notre territoire même, les débouchés ne prennent pas une extension suffisante, et qu'à l'extérieur le marché, au lieu de se développer, tende plutôt à se restreindre et à se fermer à nos nationaux.

Telle est l'impression générale qui ressort de l'examen de la dernière Exposition. Il serait d'un grand intérêt de rechercher les causes, si multiples et si diverses, de cette situation; d'étudier les remèdes qu'il est possible d'y apporter. Mais ce serait sortir complètement du cadre qui nous est tracé. Nous nous en tiendrons à quelques indications sommaires sur certains points spéciaux, en nous attachant, comme plus haut, à résumer les idées échangées entre nos collègues les jurés de la classe 54.

En matière de produits mécaniques, comme pour toute autre marchandise, les deux éléments principaux qui entrent en jeu dans les transactions sont, d'une part, la qualité des produits et, d'autre part, leur prix.

En ce qui concerne le marché extérieur, quelle que soit l'habileté de nos constructeurs, ils auront bien de la peine à lutter contre leurs concurrents sur le terrain du bas prix. Pour les produits courants, pour les grosses et lourdes constructions, dans la valeur desquelles la matière première entre pour une large part, nous nous trouvons en présence de l'Angleterre, de la Belgique et même de l'Allemagne, beaucoup mieux favorisées que nous pour la grande production; et il paraît bien difficile que, dans ces conditions, nous puissions soutenir la concurrence.

Mais il semble qu'il en soit tout autrement s'il s'agit de produits

Gr. VI. — Cl. 54.

fins et ouvragés, dans lesquels la question de qualité l'emporte sur celle de bon marché. Ici nous pouvons lutter à armes au moins égales. Les exemples que nous fournissent la Suisse et les États-Unis, qui, à notre égard, sont dans une situation analogue à celle où nous nous trouvons envers le marché étranger, ces exemples sont particulièrement instructifs.

Comment les constructeurs suisses ont-ils pu nous imposer leurs produits à Bellegarde, malgré l'infériorité de leur situation au point de vue des matières premières et des droits de douane? C'est qu'ils avaient su se faire une spécialité de la construction des puissantes turbines, associées aux transmissions télédynamiques; que, par des études persévérantes, par une tradition de longue haleine, ils ont fini par se rendre maîtres des difficultés de ces sortes d'installation.

Comment les constructeurs américains parviennent-ils à imposer leurs machines sur le marché européen? C'est encore grâce à l'excellence de ces produits, obtenue à la suite de longs efforts dans une même direction; c'est par la spécialisation du travail. Une maison américaine s'attache à un certain type de machine qu'elle étudie à fond et qu'elle fabrique par séries. Chaque organe est ainsi reproduit à un très grand nombre d'exemplaires, et l'on peut consacrer à sa fabrication des machines-outils spéciales, qui l'exécutent avec une économie et une précision incomparablement supérieures à tout ce que peut donner le travail à la main. Les pièces ainsi terminées sont numérotées, repérées, et le montage se fait avec une rapidité extrême, sans tâtonnements, sans retouches. Souvent la machine est terminée sans qu'il ait été donné un coup de lime.

Il faut dire aussi qu'après avoir produit, dans des conditions remarquables de bon marché, des machines de qualité supérieure, les Américains déploient une habileté non moins grande pour les faire valoir, pour les présenter sous leurs aspects les plus séduisants; qu'ils savent à merveille se renseigner sur les besoins et les goûts de leur clientèle; qu'ils n'épargnent ni argent, ni voyages, pour assurer et étendre leurs débouchés. Ils ne font que suivre en cela l'exemple de toutes les nations qui ont prospéré dans le com-

merce, et cet exemple est excellent à imiter. Nos insuccès sur les marchés extérieurs sont dus sans doute, pour une bonne part, à l'insuffisance de nos informations, et à notre répugnance instinctive pour les déplacements et les voyages, répugnance inhérente, pour ainsi dire, au caractère national. Gr. VI. — Cl. 54.

Si dans nos relations avec l'étranger la question de la qualité des produits est prépondérante, celle du bas prix acquiert une importance au moins égale quand il s'agit du marché intérieur.

Le prix de revient résulte de la combinaison de deux éléments principaux : le prix des matières premières et les frais d'élaboration.

La houille et le minerai de fer sont les deux matières initiales qui entrent, comme constituants essentiels, dans la presque totalité des mécanismes. Par le fait de la distribution géographique des gisements minéraux de notre pays, ces deux produits ont à subir chez nous de très longs parcours, avant de donner naissance, par des réactions et combinaisons variées à l'infini, à des machines terminées et prêtes à fonctionner. L'abaissement du prix des matières premières, pour les industries mécaniques, est donc, au premier chef, une question d'abaissement des prix de transport. Ce que ces industries réclament avec instance, c'est la modération des tarifs de chemins de fer; c'est surtout l'extension et l'unification du réseau des voies navigables. La véritable affectation que ces voies devraient avoir, c'est le transport des marchandises lourdes et de peu de valeur, telles que la houille, le minerai, la fonte, le fer, c'est-à-dire toutes les matières premières de la construction. Mais, dans leur état actuel, et avec la disparité des gabarits qui règnent sur nos divers canaux, les voies navigables ne rendent que des services bien restreints, et hors de toute proportion avec l'utilité qu'elles pourraient avoir.

Les frais d'élaboration dépendent d'une multitude de facteurs, dont il serait hors de propos d'étudier par le détail l'influence individuelle. Nous devons nous en tenir à quelques données d'un caractère général, que la dernière Exposition a mises plus particulièrement en relief.

Gr. VI. — Cl. 54.

Ici, comme lorsqu'il s'est agi de l'exportation, vient se présenter la question de la spécialisation du travail. Sur une échelle beaucoup plus vaste, cette question est la même que celle de la division du travail dans les manufactures.

Les produits mécaniques servent de nos jours à des usages tellement nombreux, ils ont atteint une telle diversité dans leur contexture et dans leur destination, qu'il devient impossible à une même usine d'en embrasser même une faible partie; la spécialisation par variétés en nombre restreint semble s'imposer aujourd'hui comme une nécessité économique.

Plusieurs de nos meilleures maisons de construction sont, comme on l'a vu, entrées avec décision dans cette voie féconde: elles fabriquent un petit nombre d'articles d'un usage courant, et arrivent à les livrer à des conditions de prix et de perfection qui seraient irréalisables avec les procédés ordinaires; les résultats techniques et commerciaux ainsi obtenus sont considérables. Mais c'est là une assez rare exception; le plus souvent le constructeur fabrique sur commande, et il se charge également de travaux extrêmement différents les uns des autres. Dès lors, pour chaque machine qu'il a à livrer, il doit refaire de nouvelles études, il est astreint à porter successivement son attention sur les objets les plus différents; il est rare qu'il ait le loisir d'approfondir un sujet déterminé, et d'en extraire, comme on le fait ailleurs, les dernières conséquences; il faut qu'il recommence chaque fois le travail long et coûteux des modèles, des commandes de matière, du traçage, de la mise en train, sans compter les dépenses considérables qu'entraînent les retouches à la lime et le montage des pièces, imparfaitement ajustées par des outils omnibus. Il est clair que, dans de pareilles conditions, non seulement les produits fabriqués sont défectueux, et comme prix, et comme exécution, mais encore qu'ils ne peuvent s'améliorer qu'au hasard et avec beaucoup de lenteur et d'irrégularité, puisque l'expérience acquise pendant l'exécution d'une machine se trouve à peu près perdue lorsqu'il s'agit de construire la suivante, totalement différente de la première, et comme plan, et comme détails.

Dans l'état actuel de notre industrie, on doit considérer la

spécialisation du travail de chaque atelier comme une condition indispensable du progrès. Gr. VI. — Cl. 54.

C'est là du reste, sous une forme différente, le phénomène qui depuis longtemps s'est produit de lui-même à un autre degré de l'échelle industrielle; aussitôt que les matières ont dû subir des élaborations un peu complexes, le travail s'est divisé en catégories; le même objet, avant d'arriver à l'état de produit marchand, passe successivement entre les mains d'un nombre très grand d'ouvriers, et chacun d'eux n'a à exécuter qu'une série extrêmement limitée d'opérations, qui sont toujours les mêmes. Une expérience très longue a démontré que, par cette méthode, l'ouvrier acquiert promptement une habileté extrême dans la besogne spéciale qu'il doit accomplir, et que ce système d'organisation de la main-d'œuvre est le seul qui permette de livrer à bas prix des produits toujours uniformes. Les résultats économiques obtenus par la division du travail tiennent parfois du prodige, et dépassent tout ce que l'on eût pu prévoir.

Cette division du travail existe dans les ateliers de construction, quoique à un degré beaucoup moins prononcé peut-être que dans d'autres industries. Les ouvriers se répartissent en traceurs, tourneurs, raboteurs, monteurs, etc. etc., et les chefs d'industrie bien avisés distribuent le travail de telle sorte que chaque homme soit, autant que possible, toujours attaché à la même besogne et aux mêmes outils. C'est là la condition essentielle d'une production bien ordonnée et économique.

Mais, de cette subdivision des ouvriers mécaniciens en divers corps de métiers, il est résulté un phénomène assez bizarre, et, dans tous les cas, fort imprévu et extrêmement fâcheux. Constamment attelé à une tâche uniforme, qu'il exécute avec d'autant plus d'adresse qu'il s'y est plus longtemps appliqué, l'ouvrier s'y trouve à la longue exclusivement attaché, aussi bien par son propre intérêt que par l'intérêt de son patron. Il finit par perdre toute vue en dehors du cercle étroit de ses occupations quotidiennes. Nos vieux chefs d'industrie se rappellent ces mécaniciens du temps jadis qui avaient fait presque tous les métiers. La spécialisation du tra-

Gr. VI. — Cl. 54.

vail a singulièrement réduit cette classe d'ouvriers intelligents, éveillés, habiles à se tirer d'affaire, à manier n'importe quel outil, féconds en ressources pour sortir d'embarras. C'est dans cette classe que se recrutaient les chefs ouvriers et les contremaîtres; ce recrutement devient chaque jour plus difficile. Le travail économique et régulier, conséquence d'une concurrence ardente, menace d'en tarir les sources, au grand détriment de notre industrie. L'armée industrielle a ses soldats et ses officiers, elle manque de sous-officiers. C'est là un des graves problèmes qui se posent à nos constructeurs.

A côté de cet inconvénient très sérieux, la répartition des opérations mécaniques a eu d'autres conséquences qui présentent certains côtés fort séduisants. L'ouvrier laborieux et honnête, qui a su se créer une spécialité, et dont l'habileté est reconnue, trouve assez souvent les moyens de s'acheter quelques outils et de s'établir à son compte; il travaille aux pièces et devient entrepreneur pour de petites tâches. Ce système est devenu assez commun dans certaines grandes villes; souvent alors le constructeur n'a, par devers lui, qu'un atelier fort restreint; il fait exécuter en ville la plupart des pièces dont il doit composer ses machines, et n'a plus à se préoccuper que d'un dernier ajustage et du montage définitif. On peut discuter la valeur économique d'une pareille méthode de travail, mais les avantages au point de vue exclusivement moral en sont incontestables. Le travail indépendant et responsable relève la dignité de l'ouvrier et le sentiment de sa valeur, bien mieux que le travail en commun dans les salles d'une manufacture. L'atelier en chambre est l'antidote du cabaret; le travail en famille est la meilleure sauvegarde contre les entraînements et l'inconduite: rien n'est plus sain, plus propre à développer le dévouement et les sentiments élevés. Malheureusement il y a peu d'industries un peu actives qui se prêtent à une pareille organisation, et le travail en chambre restera longtemps une exception.

Toutes ces questions relatives à la main-d'œuvre, aux ouvriers, à leurs droits, à leurs devoirs, à leurs mœurs, à leurs rapports

avec les patrons sont d'une haute gravité. Ce n'est pas ici le lieu de les traiter d'une manière générale; disons seulement quelques mots de ceux de ces problèmes qui touchent le plus directement à l'industrie mécanique. Gr. VI. — Cl. 54.

Il ne semble pas qu'à l'époque actuelle la vieille querelle entre le travail et le capital soit sur le point de s'apaiser; hâtons-nous cependant de constater que la situation est bien moins fâcheuse en France que chez la plupart des nations voisines. Sans doute les grèves sont devenues plus fréquentes, mais la lutte n'a pas le même caractère d'aigreur et d'acuïté qu'en Angleterre, par exemple, ou aux États-Unis; elle se dénoue d'ordinaire par des concessions amiables, faites de part et d'autre, sans que l'on ait eu à regretter les violences qui ensanglantent si fréquemment les chantiers des grandes nations industrielles. D'autre part, les ouvriers mécaniciens, en général sobres et intelligents, se laissent peut-être moins que d'autres entraîner dans ces sortes de conspirations, et donnent moins facilement dans les pièges que leur tendent les meneurs; néanmoins, pour revêtir une forme moins brutale, les revendications n'en sont pas moins fort ardentes. Il y a là, dans notre corps social, les symptômes indéniables d'un état morbide qui peut s'aggraver d'un moment à l'autre.

La grève n'est certes pas un remède: c'est une arme à deux tranchants, qui fait autant de mal à celui qui la tient qu'à celui qu'elle frappe; l'effet le plus ordinaire des grèves est de paralyser l'industrie nationale dans sa lutte contre l'étranger.

Les institutions de prévoyance, bien organisées et assises sur des bases solides, semblent un acheminement bien plus sérieux dans la véritable voie. Mulhouse nous fournit à cet égard des exemples qu'il est du devoir de tout chef d'industrie de méditer.

Dans ce grand centre manufacturier, la question ouvrière a été étudiée de haut, et traitée avec une largeur de vues et une chaleur de cœur qu'on ne saurait assez admirer. A Mulhouse, l'ouvrier laborieux est non seulement assuré du pain de tous les jours et des secours pendant la maladie; il est encore protégé contre les

Gr. VI. — Cl. 54.

accidents; il a l'instruction gratuite pour lui et les siens; il a sa maison et son jardin, où il goûte en paix les joies de la famille, où il trouve un repos assuré dans sa vieillesse, et qu'il lègue à ses enfants quand sa dernière heure a sonné; enfin, ce qui est plus précieux peut-être, il se sent entouré, à chaque instant de sa vie, de l'affection de ceux auxquels il donne son travail, et auxquels il rend en dévouement tout ce qu'il en reçoit de soins généreux. Il y a dans cet ensemble remarquable d'institutions un pas considérable vers la solution de ce que l'on appelle le problème social. Ce n'est plus l'utopie, le rêve, la formule creuse; c'est l'amélioration pratique et réalisée du sort de toute une classe; c'est l'union de tous les rangs de la société dans la défense contre la misère.

Quelques-unes de nos meilleures maisons de construction ont attaqué par un autre côté cette question difficile; partant de ce point de vue, parfaitement fondé, que les succès d'une industrie sont la résultante des efforts de tous ceux qui y apportent leur labeur, et que chacun d'entre eux doit avoir sa part dans les bénéfices comme dans la peine, elles intéressent directement leur personnel aux résultats de leurs opérations. A la fin de chaque exercice, une fraction déterminée des bénéfices nets est répartie entre les contremaîtres, les employés et les ouvriers, suivant des règles équitablement établies. Cette participation du personnel dans les produits réalisés a donné jusqu'ici les meilleurs résultats; c'est une expérience intéressante, qui a pour elle une pratique déjà longue, et qui peut, si la réussite continue à s'affirmer, ouvrir des voies nouvelles et supprimer de très grosses difficultés.

Disons un mot, pour terminer, d'une question non moins grave, qui se rattache par plus d'un lien à la précédente : il s'agit de l'éducation, envisagée au point de vue strictement professionnel.

Nous avons en France d'excellentes écoles de mécaniciens; ce sont les écoles d'arts et métiers. Elles ont depuis longtemps fait leurs preuves, et les sujets qu'elles fournissent sont connus pour la solidité de leur instruction et l'étendue des services qu'ils peuvent rendre. Malheureusement ces écoles ne reçoivent qu'un

nombre limité d'élèves, et d'ailleurs elles ne sont pas abordables à tous les jeunes gens qui se destinent à la mécanique. La plupart des ouvriers mécaniciens ont passé, non pas par les écoles, mais par l'apprentissage. C'est dire qu'ils sont loin de connaître tous les éléments de leur métier, et d'en posséder toutes les ressources. L'apprentissage ne donne guère qu'une instruction professionnelle partielle et incomplète. C'est là une des causes qui expliquent la pénurie de contremaîtres qui se fait chaque jour plus vivement sentir. Il y a une lacune dans le personnel de la construction mécanique, lacune qui va chaque jour en s'élargissant, et qui, dès aujourd'hui, occasionne souvent de graves embarras. Cette lacune, les écoles d'arts et métiers sont faites pour la combler; mais pour qu'elles soient à la hauteur de leur mission, il est nécessaire qu'elles soient largement multipliées et agrandies, et qu'enfin leur accès soit facilité aux enfants dénués de ressources.

D'une part, l'ouvrier mécanicien qui sort d'apprentissage manque, en général, des notions les plus indispensables de la théorie; il ne connaît guère sa profession que par le côté purement manuel. D'autre part, dans nos écoles d'ingénieurs, même dans les écoles dites *d'application*, la partie scientifique des cours est de beaucoup la plus développée, et la pratique est laissée tout à fait au second rang. Les études se portent principalement vers la théorie, le calcul et le dessin. A ce point de vue, elles sont fort approfondies, et l'on peut les considérer, d'une manière générale, comme suffisantes.

Mais à côté des forces et des formes, il y a dans la construction des machines d'autres éléments qu'il n'est pas permis de négliger. En premier lieu, il faut tenir compte de la matière et de ses propriétés; et nous voulons parler ici, non seulement des propriétés telles que la résistance et l'élasticité, qui peuvent se traduire par des chiffres, mais surtout de ces propriétés pratiques, qui, fort précises en elles-mêmes, ne peuvent être expliquées, ni dans les cours oraux, ni dans les salles d'étude, qui ne peuvent être bien comprises qu'à l'atelier, qui sont sensibles à la main et à l'œil, plutôt qu'à l'intelligence, dont on ne peut s'assimiler la notion que

Gr. VI. — Cl. 54.

par le travail manuel. L'étude des propriétés de cet ordre se fait d'elle-même dans l'éducation anglaise, qui laisse peut-être un peu dans l'ombre le côté scientifique ; nous avons d'ailleurs vu que, sous ce dernier rapport, de nouvelles tendances semblent se manifester. Chez nous, cette étude manuelle n'est-elle pas un peu trop sacrifiée? Nos jeunes ingénieurs ne sortent-ils pas de leurs écoles avec un bagage mal équilibré, très lourd en théorie, peut-être léger comme sens pratique? Et n'éprouvent-ils pas souvent de cruelles déceptions dans les débuts de leur carrière, quand ils se trouvent en face d'une responsabilité, et qu'ils cherchent à traduire dans des constructions les notions théoriques qu'ils ont reçues? N'y aurait-il pas avantage à se rapprocher un peu de la méthode anglaise, et à suivre, dans une juste mesure, l'exemple que nous donnent nos voisins? Enfin les admirables expositions des écoles techniques russes n'auront-elles pas quelque influence sur nos procédés d'enseignement?

Il est un autre élément bien plus difficile à connaître et à traiter que le fer ou la fonte, doué de propriétés plus mystérieuses, c'est l'homme, contremaître ou ouvrier, avec lequel le jeune ingénieur va se trouver en contact continuel. Nous ne pouvons qu'indiquer ce sujet délicat entre tous ; mais, même à ce point de vue, on se demande s'il n'y aurait pas quelques améliorations à introduire dans nos systèmes d'éducation, et si la fréquentation de l'atelier, marchant de front avec l'instruction scientifique, n'aurait pas pour effet, tout en initiant l'élève à l'élaboration des matériaux qu'il aura plus tard à mettre en œuvre, de lui faire connaître et estimer ces rudes collaborateurs, dont la main doit donner à ses conceptions leur vie et leur forme définitive.

Les questions qui viennent d'être effleurées, et d'autres encore, ont été posées plus d'une fois dans les conversations amicales des jurés. Elles ont servi de thème à des discussions élevées et pleines d'intérêt, que les limites de ce rapport ne nous permettent malheureusement pas de résumer dans toute leur étendue. Puisque nous avons été amené à parler de nos grandes écoles d'ingénieurs, qu'il nous soit permis de montrer de quelle manière l'enseignement

qu'elles donnent si libéralement est apprécié par les étrangers. Les paroles que nous citons ci-dessous ont été dites par un membre étranger du jury, qui jouissait auprès de ses collègues de la plus haute et plus légitime autorité : Gr. VI. — Cl. 54.

« Depuis notre enfance, disait-il en s'adressant aux jurés français, on nous parle de vos grandes écoles pour les sciences appliquées, on nous enseigne les méthodes qui y sont suivies, on nous indique les résultats qui y sont obtenus, et l'on nous distribue les livres que leurs professeurs ont écrits. Quand, chez nous, on a voulu établir un enseignement pour les ingénieurs, ce sont ces écoles qu'on a prises pour modèles, et plusieurs de nos jeunes gens ont profité de l'hospitalité qu'elles offrent aux étrangers.

« On peut être certain que ces écoles continueront d'exercer leur influence salutaire sur le développement des sciences appliquées, et par conséquent sur les progrès de l'humanité. Nous espérons tous qu'elles ne cesseront jamais de remplir leur importante mission. »

LISTE DES RÉCOMPENSES

DÉCERNÉES PAR LE JURY DE LA CLASSE 54,

AVEC INDICATION DES OBJETS RÉCOMPENSÉS [1].

Diplôme d'honneur équivalent à une grande médaille.

Associations des propriétaires d'appareils à vapeur. — France. — Publications techniques et collection de tôles avariées.

Grandes médailles.

Colladon (D.). — Suisse. — Compresseurs d'air.
Engel (F.). — France. — Appareils pour éviter les accidents de machines.
Farcot et ses fils. — France. — Servo-moteur et machines à vapeur.
Galloway (W. et J.) et fils. — Angleterre. — Chaudières et machines à vapeur.
Piat (A.). — France. — Collection de roues dentées.
Société suisse pour la fabrication de locomotives et de machines de Winterthur. — Suisse. — Machines à vapeur.
Sulzer frères. — Suisse. — Machines à vapeur, chaudières et dessins.
Thomasset. — France. — Appareils à essayer les métaux.
Wheelock (J.). — États-Unis. — Machine à vapeur.
Weyher et Richemond. — France. — Machines à vapeur.

Rappel.

Whitworth (Sir Joseph) et Cie. — Angleterre. — Pièces mécaniques en acier fondu.

Médailles d'or.

Albaret et Cie. — France. — Locomobiles.
Alexander frères. — Espagne. — Machines à vapeur.
Armengaud (C.-E.) aîné. — France. — Publications techniques.

[1] On rappelle ici qu'il n'a été accordé qu'une seule récompense par exposant, même lorsqu'il exposait plusieurs objets; la récompense décernée est la plus élevée de toutes celles auxquelles il avait droit, eu égard aux divers objets exposés. (Voir le chap. Ier du présent rapport.)

Gr. VI. — Ateliers de construction des chemins de fer de l'État, de Buda-Pesth. — Hongrie. — Machines à vapeur.

Cl. 54. Beer (C.). — Belgique. — Machines à vapeur.
Belleville et Cie. — France. — Chaudières.
Bellino-Fendrich. — Russie. — Machines à vapeur.
Béthouard et Brault. (Rappel.) — France. — Turbines et transmissions.
Boudier frères. — France. — Machines à vapeur.
Bourdon (Édouard). — France. — Manomètres.
Boyer (E.). (Rappel.) — France. — Machines à vapeur.
Bréval (L.). — France. — Machines à vapeur.
Buffaud frères. — France. — Machines à vapeur.
Cail et Cie. — France. — Machines à vapeur.
Chameroy. — France. — Bascules.
Chevalier, Grenier et Droux. — France. — Chaudières à vapeur.
Chiazzarri de Torrès. — Italie. — Injecteur.
Claparède (F.). — France. — Machines à vapeur.
Clayton et Shuttleworth. — Angleterre. — Machines à vapeur.
Collman (A.). — Autriche-Hongrie. — Machines à vapeur.
Compagnie de Fives-Lille. (Rappel.) — France. — Machines à vapeur et chaudières.
Compagnie des fonderies et forges de l'Horme. — France. — Machines à vapeur.
Compagnie de l'usine de Gothembourg. — Suède. — Treuils et machines à vapeur.
Compagnie des usines de J. et C.-G. Bolinder. — Suède. — Machines à vapeur.
Cordier aîné. — France. — Foyer fumivore et fourneaux pour chaudières.
Durenne (J.). — France. — Chaudières.
Duvergier (A.). — France. — Machine à vapeur.
École impériale technique de Moscou. (Diplôme.) — Russie. — Machine à vapeur et pièces mécaniques.
Escher Wyss et Cie. — Suisse. — Machines à vapeur et turbines.
Fairbanks (E. et T.) et Cie. — États-Unis. — Balances et bascules.
Garnier. — France. — Compteurs et indicateurs de Watt.
Garrett (R.) et fils. — Angleterre. — Locomobiles.
Hall (H.). — États-Unis. — Pulsomètre.
Hancock inspirator Company. — États-Unis. — Injecteur.
Hathorn, Davis et Davey. — Angleterre. — Appareils hydrauliques et pompes à vapeur.
Hornsby (R.) et fils. — Angleterre. — Machines à vapeur.
Howe scale Company. — États-Unis. — Balances et bascules.
Imbert frères. — France. — Chaudronnerie en tôle soudée.
Lebrun (L.). — France. — Machines à vapeur et pompes.
Lecointe et Villette. — France. — Machines à vapeur.

Lecouteux et Garnier. (Rappel.) — France. — Machines à vapeur et pompes. Gr. VI.
Leeds forge Company (limited). — Angleterre. — Foyer en tôle ondulée et soudée. — Cl. 54.
Le Gavrian et fils. (Rappel.) — France. — Machines à vapeur.
Marshall fils et Cie. — Angleterre. — Machines à vapeur.
Mégy, Echeverria et Bazan. — France. — Appareils de levage.
Merryweather et fils. (Rappel.) — Angleterre. — Pompes à vapeur.
Mouchot. — Algérie. — Moteur solaire.
Powell (Thomas et T.). (Rappel.) — France. — Machine à vapeur.
Ransome, Sims et Head. — Angleterre. — Machines à vapeur.
Robey et Cie. — Angleterre. — Locomobiles.
Sagebien (A.). — France. — Roue hydraulique.
Satre et Averly. — France. — Machines à vapeur.
Schemioth. — Angleterre. — Foyer à brûler la paille.
Schmid (A.). — Suisse. — Moteurs hydrauliques.
Schneider et Cie. — France. — Machines à vapeur.
Société anonyme de constructions mécaniques d'Anzin. — France. — Machine à vapeur.
Socin et Wick. — Suisse. — Machines à vapeur et turbines.
Stork frères et Cie. — Pays-Bas. — Machines à vapeur.
Tangye frères. — Angleterre. — Machines à vapeur et pompes.
Turck. — France. — Injecteur.
Walschaerts (E.). — Belgique. — Machine à vapeur.
Windsor et fils. — France. — Machine à vapeur.

Médailles d'argent.

Abt (R.). — Suisse. — Travaux statistiques sur les appareils à vapeur.
Angely (A.). — France. — Transmission hydraulique du travail.
Appleby frères. (Rappel.) — Angleterre. — Appareils de levage.
Artige et Cie. (Rappel.) — France. — Machine à vapeur.
Ateliers de Porsgrund. — Norwège. — Treuil à vapeur.
Baillet et Audemar. — France. — Pompe à piston double.
Berg (V.-J.). — Danemark. — Dynamomètre.
Bollée (E.). (Rappel.) — France. — Bélier hydraulique et moulin à vent.
Bon et Lustremant. — France. — Grue à mâter et ascenseur.
Bougarel (F.). — France. — Applications du manomètre.
Bourgougnon (J.). — France. — Frein à embrayage par friction.
Brand et Lhuillier. — Autriche-Hongrie. — Tuyauterie de fer.
Breloux (B.). — France. — Locomobiles.
Brisson, Fauchon et Cie. — France. — Locomobiles.
Brissonneau frères. — France. — Machines à vapeur.
Broquin, Lainé et Muller. — France. — Robinetterie.

Gr. VI. Brotherhood (P.). — Angleterre. — Machine à vapeur à trois cylindres.
— Brouhot et Cie. — France. — Machines à vapeur.
Cl. 54. Brown caloric engine Company. — États-Unis. — Machine à air chaud.
Burguy (E.). — France. — Presses hydrauliques.
Buss, Sombart et Cie. — France. — Régulateurs à force centrifuge.
Cail, Halot et Cie. — Belgique. — Machines à vapeur et treuil roulant.
Caillard frères. — France. — Grue à vapeur.
Casse (C.). — France. — Manomètres.
Cazaubon (J.). — France. — Machine à vapeur.
Chaligny et Guyot-Syonnest. — France. — Machines à vapeur.
Chaudré (F.). — France. — Accessoires de chaudières.
Claudel. — France. — Publications techniques.
Cleuet (V.). — France. — Dispositions diverses pour chaudières.
Cochot (A.). (Rappel.) — France. — Locomobiles.
Compagnie de l'usine de Sköfde. — Suède. — Treuil à vapeur.
Compagnie parisienne du gaz. (Rappel.) — France. — Machine à gaz d'Otto.
Corbran et Le Marchand. (Rappel.) — France. — Machine à vapeur.
Corcoran. — États-Unis. — Moulins à vent.
Crespin et Marteau. — France. — Locomobiles.
Crichton (W.) et Cie. — Russie. — Machine à vapeur.
Cumming (J.). — France. — Locomobiles.
Daix (V.). — France. — Robinetterie.
Damey (J.). (Rappel.) — France. — Locomobiles.
Danks (J.). (Rappel.) — Victoria (Angleterre). — Robinetterie.
Decœur (P.). — France. — Pompe centrifuge et turbine.
Delahaye et Renard. — France. — Élévateur pneumatique des grains.
Denfer (J.). — France. — Traité de chaudières à vapeur.
Denis (G.). — France. — Régulateur à force centrifuge.
Deschiens (J.). — France. — Compteurs.
Domange-Lemierre et Cie. — France. — Courroies.
Dubuc (M.). — France. — Machines à vapeur, machines élévatoires.
Ducomet (J.). — France. — Manomètres et pyromètres à fusion.
Dumont et Cie. (Rappel.) — France. — Pompes centrifuges.
Duvallon et Lloyd. — Angleterre. — Machines à vapeur.
École des arts et métiers du Caire. (Diplôme.) — Égypte. — Noria.
Édoux (F.-L.). (Rappel.) — France. — Ascenseurs.
Fagel (E.). — Belgique. — Bascules.
Faller. — Autriche-Hongrie. — Compteurs d'eau.
Fétu (A.) et Deliège. — Belgique. — Machine à gaz d'Otto.
Flaud et Cohendet. (Rappel.). — France. — Machines à vapeur.
Fonderie Oretea de Florio. — Italie. — Machines à vapeur et modèle de grue.
Fontaine (Louis). — France. — Chaudières.
Fouché et de Laharpe. — France. — Chaudières.

Fouletier frères. — France. — Courroies. Gr. VI.
Gautreau (T.). — France. — Machines à vapeur. —
Geneste, Herscher et Cie. — France. — Appareils pour les conduites de vapeur, etc. Cl. 54.
Gérard et fils. — France. — Locomobile.
Giffard et Berger. — France. — Machine à produire le froid.
Girard (A.). — France. — Chaudières.
Green (E.) et fils. — Angleterre. — *Economiser.*
Guyenet (C.). — France. — Grue à vapeur.
Guyon et Audemar. — France. — Pompes.
Gwynne (J. et H.). — Angleterre. — Pompes centrifuges.
Hanriau. — France. — Utilisation des chutes d'eau souterraines.
Harant. — France. — Pompe centrifuge.
Hartnell. — Angleterre. — Régulateur à force centrifuge.
Heim (A.). — États-Unis. — Courroies.
Hermann-Lachapelle. (Rappel.) — France. — Machine à vapeur.
Heurtebise. — France. — Ascenseur.
Hock (J.) et Cie. — Autriche-Hongrie. — Machine à air chaud.
Hopkinson (J.) et Cie. — Angleterre. — Accessoires de chaudières.
Hoyt (J.-B.) et Cie. — États-Unis. — Courroies.
Humphries (E.). — Angleterre. — Machines à vapeur.
Hydraulic engineering Company (The). — Angleterre. — Appareils hydrauliques.
Kennedy (W.) et fils. — Angleterre. — Turbine.
Klem, Hansen et Cie. — Norwège. — Courroies.
Laubereau. — France. — Machine à air chaud.
Lecornu (A.). — France. — Machine à vapeur.
Legat (D.). — France. — Appareils divers pour l'emploi de la vapeur.
Leloutre. — France. — Études sur les machines à vapeur.
Letestu (M.-A. E.). (Rappel.) — France. — Pompes.
Lethuillier et Pinel. — France. — Accessoires de chaudières.
Mallinson. — Angleterre. — Robinets à garniture d'asbeste.
Mékarski. — France. — Emplois de l'air comprimé.
Meunier et Cie. — France. — Chaudières.
Ministère des finances. (Diplôme.) — Italie. — Appareil de mesure pour les grains.
Moret et Broquet. — France. — Pompes, petits moteurs.
Muller et Fichet. — France. — Système de chauffage des chaudières.
Olry et Granddemange. — France. — Machines à vapeur.
Onsum (O.). — Norwège. — Locomobiles.
Paupier (L.). — France. — Appareils de pesage.
Perreaux (L.). — France. — Pompes et dynamomètres.
Pihet (A.). — France. — Tachomètres, indicateurs de vitesse, etc.

Gr. VI. Placide Peltereau (Vve), Lejeune frères. — France. — Courroies.
— Poullain frères. — France. — Courroies.
Cl. 54. Pulsometer engineering Company (The). — Angleterre. — Pulsomètre.
Renaud (P.). — France. — Locomobiles.
Ribourt (L.). — France. — Emploi de l'air comprimé.
Richards (C.-B.). — États-Unis. — Indicateur de pression.
Rider. — Angleterre. — Machine à air chaud.
Russell (J.) et Cie. — Angleterre. — Tuyauterie de fer et robinetterie.
Ruston Proctor et Cie. — Angleterre. — Locomobiles.
Salin et Cie. — France. — Grue.
Sautter, Lemonnier et Cie. — France. — Appareils de levage.
Schember (C.) et fils. (Rappel.) — Autriche-Hongrie. — Balances.
Schmitz. — France. — Grille à barreaux tournants.
Scholtze, Réphan et Cie. — Russie. — Machine à vapeur.
Schreiber Salomon et Cie. — Autriche-Hongrie. — Moteur à ressort.
Simon (L.) et fils. — Angleterre. — Moteur à gaz.
Skoda (E.). — Autriche-Hongrie. — Machine à vapeur.
Société de construction des Batignolles. — France. — Machine à vapeur.
Stapfer de Duclos et Cie. — France. — Pompe à vapeur.
Stow flexible Shaft Company. — États-Unis. — Transmission flexible.
Ten-Brinck (C.). — France. — Foyer fumivore.
Thirion. — France. — Pompe à vapeur.
Thomas (G.) et Cornet (J.-B.). — Belgique. — Appareils de levage.
Trayvou (usine de la Mulatière). — France. — Balances et bascules.
Tullis (J.) et fils. — Angleterre. — Courroies.
Turner (E.-R et F.). — Angleterre. — Machine à vapeur.
Tyler (Hayward) et Cie. — Angleterre. — Machine à air chaud de Rider.
United States wind mill engine and pump Company. — États-Unis. — Moulins à vent.
Van Goethem (W.), Réallier (J.) et Cie. — Belgique. — Pompe rotative.
Villette (P.). — France. — Chaudières.
Voruz aîné. (Rappel.) — France. — Grue et locomobile.
Westin (O.-E.). — Suède. — Turbines.
Winter (J.). — Autriche-Hongrie. — Machine à colonne d'eau.
Zimmermann (de Marchiennes). — France. — Distribution de vapeur.

Médailles de bronze.

Achard (F.-A.). — France. — Embrayage électrique.
Adeline (E.). — France. — Courroies en caoutchouc.
Allen. — France. — Régulateur à liquide.
Andrade. — France. — Régulateur à force centrifuge.
Askenasy (A.).— Autriche.— Appareil à mesurer la flexion des ponts en fer.

Gr. VI. — Cl. 54.

Aubry et Cie. — France. — Pompes.
Avanzi (A.). — Italie. — Pèse-grains.
Bailly et Roche frères. — France. — Bascules.
Bartrum et Pauwels. — France. — Pompe rotative.
Basiliades. — Grèce. — Chaudière.
Bataille et Bloom. — France. — Transmission.
Beaume (L.). — France. — Pompes.
Berendorf (J.). — France. — Machines à vapeur fixes et locomobiles.
Bergerat (L.). — France. — Gerbeuse de tonneaux.
Bernays (J.). — Angleterre. — Machine à vapeur.
Bernier et Cie. — France. — Appareils de levage.
Blazioski (E.). — France. — Robinetterie.
Bohler. — France. — Injecteur.
Bolzano Tedesco et Cie. — Autriche-Hongrie. — Grille mécanique.
Borius (J.). — France. — Appareil à jauger les liquides.
Bosisio (P.) et Cie. — Italie. — Locomobile.
Boué (J.). — France. — Locomobiles.
Bowing's patent filter press Company. — Angleterre. — Filtres à haute pression.
Bretonnière. — Algérie. — Pulsateur.
Brossard (J.). — France. — Condenseur aspirant.
Brunot (A.). — France. — Contrôleur de marche.
Burrows, Steward et Milne. — Angleterre. — Bascules.
Casassa. — France. — Pompe à acides.
Cassagnes. — France. — Publications techniques.
Castrup (I.-I.). — Danemark. — Balances.
Cauchoix (E.). — France. — Robinetterie.
Chambault (C.). — France. — Robinetterie.
Chauvin et Marin-Darbel. — France. — Treuils et machine d'essai.
Chenon (P.). — France. — Courroies.
Chetou (L.). — France. — Machine à vapeur.
Chevallier (E.). — France. — Enveloppes de liège.
Chouanard (J.). — France. — Appareils de levage.
Chrétien (J.). — France. — Grues à vapeur.
Cochard (E.). — France. — Transmissions.
Collin (A.). — France. — Applications de l'horlogerie aux machines industrielles.
Compagnie de la fonderie et de l'usine de Landskrona. — Suède. — Machine à vapeur.
Compagnie de Lilljedal (J.-F.). — Suède. — Courroies.
Compagnie des fabriques de Jonsered. — Suède. — Courroies.
Coque (A.). — France. — Compteur d'eau.
Corpet et Bourdon. — France. — Combinaisons cinématiques.

Gr. VI. Correy. — France. — Distribution de vapeur.
— Cossa. — Angleterre. — Bascules.
Cl. 54. Davey, Paxman et Cie. — Angleterre. — Locomobiles.
Debauve. — France. — Publications techniques.
Dedieu (C.). — France. — Manomètres.
Del (F.). — France. — Locomobile.
Demenge. — France. — Machine à vapeur.
Dervaux. — Belgique. — Alimentateur automatique.
Desbordes (L.). — France. — Manomètres.
De Ville, Chatel (H.) et Cie. — Belgique. — Machine à vapeur.
Dewrance (J.) et Cie. — Angleterre. — Robinetterie.
Donnadieu (A.). — France. — Pompes.
Dormoy. — France. — Robinetterie.
Douglas (W. et B.). — États-Unis. — Pompes.
Dudon-Mahon. — France. — Balancier hydraulique.
Dulac frères. — France. — Appareils désincrustants.
Dupuch (G.). — France. — Robinetterie.
Dusaulx (C.). — France. — Machine à essence minérale.
Écoles des arts et métiers. (Diplôme.) — France. — Publication technique.
Edwards (W.-J.). — Angleterre. — Courroies.
Eiffel et Cie. — France. — Grue.
Faija (H.). — Angleterre. — Compteur de vitesse.
Farcot (E.). — France. — Ventilateur.
Ferréria de Hérédia. — Espagne. — Locomobile.
Ferrero (V.). — Italie. — Compteur de vitesse.
Ferret (E.-A.). — France. — Appareil à mesurer les rubans.
Florenz (J.). — Autriche-Hongrie. — Balances.
Fontaine et Buquet. — France. — Publication technique.
Fourneaux (J.). — Belgique. — Courroies.
Frich (S.). — Danemark. — Machine à vapeur.
Goubet (D.). — France. — Appareils pour transmission.
Greenwood et Batley. — Angleterre. — Pompes et machines à vapeur.
Greindl. — Belgique. — Pompe rotative.
Guébhard et Tronchon. — France. — Contrôleur de marche.
Guichard et Cie. — France. — Manomètres.
Gwynne et Cie. — Angleterre. — Pompes centrifuges.
Gyürky (A.). — Autriche-Hongrie. — Ventilateur et pompe centrifuge.
Hanl (L.). — Autriche. — Courroies.
Hédiard (E.). — France. — Presse hydraulique.
Henry Lepaute fils. — France. — Moulin à vent.
Henzel (N.). — Autriche-Hongrie. — Grille mécanique.
Hercules lever Jack Company. — États-Unis. — Crics.
Hidien (A.). — France. — Locomobiles.

Hignette (J.). — France. — Palier-graisseur. Gr. VI.
Houyoux (J.-B.). — Belgique. — Pompe rotative. —
Hugon et Cie. — France. — Machine à gaz. Cl. 54.
Hunter et English. — Angleterre. — Machine à trois cylindres de Villans.
Japy frères et Cie. — France. — Pompes.
Jaspar (J.). — Belgique. — Bascules à ressort, système Taurines.
Jouffray cadet et fils. — France. — Machine à vapeur.
Kennedy patent water meter Company. — Angleterre. — Compteur d'eau.
Knudsen (C.). — Danemark. — Balances.
Körösi (J.). — Autriche-Hongrie. — Moteur à colonne d'eau, système Winter.
Lainé (E.). — France. — Robinetterie.
Lebeau (J.). — France. — Machine à essayer les huiles.
Le Blanc (J.) et Cie. — France. — Locomobile.
Lefèvre et Cie. — France. — Monte-charge.
Le Grand et Sutcliff. — Angleterre. — Tourniquet compteur.
Lehmann frères. — France. — Robinetterie.
List (G.-J.). — Russie. — Balances.
Locoge et Cie. — France. — Pompes à vapeur.
Mac Kenzie (T.) et fils. — Angleterre. — Turbine.
Mac Nicol (J.). — Belgique. — Chaudières.
Magniat (L.). — France. — Enveloppes en laine de scories.
Magnin et Cie. — France. — Courroies.
Manet (C.). — France. — Mesureur d'allongements.
Mariolle frères. — France. — Alimentateur.
Martel et Bousselet. — France. — Robinetterie.
Martin (A.). — France. — Tubes pour niveaux.
Mason, Volney (W.) et Cie. — États-Unis. — Appareil de levage.
Mather et Platt. — Angleterre. — Machines à vapeur.
Mathieu. — France. — Manomètres métalliques.
Michel (J.). — France. — Compteurs à eau.
Michele (V.-D. de). — Angleterre. — Machine à essayer les matériaux.
Miquel (J.). — France. — Moteur électrique.
Molard. — France. — Machine à vapeur.
Molière (A.). — Algérie. — Appareil pour étudier les distributions.
Moncrieff (J.). — Angleterre. — Tubes pour niveaux.
Moyse et Cie. — France. — Appareils de levage.
Naeff frères. — Pays-Bas. — Courroies.
Napier (D.) et fils. — Angleterre. — Indicateur de vitesse.
Nathan (D.). — Angleterre. — Bascules.
Nicholson (W.-N.) et fils. — Angleterre. — Locomobiles.
Nînes. — France. — Pompes.
Noël (N.). — France. — Pompes.
Odero (N.). — Italie. — Machine à vapeur.

Gr. VI. — Cl. 54.

Ortmans. — Belgique. — Pompe rotative.
Payre fils jeune. — France. — Compteur d'eau.
Pécard. — France. — Locomobiles.
Périn, Panhard et Cie. — France. — Machine à gaz d'Otto.
Petit (J.). — France. — Pompes.
Piau. — France. — Compteur d'eau.
Pickering (T.-R.) et Cie. — États-Unis. — Régulateur à force centrifuge.
Planas Junoy et Cie. — Espagne. — Turbines.
Portilla, White et Cie. — Espagne. — Machine à vapeur.
Pottin (Henry). — France. — Compteur pour caissier.
Pouplier et Cie. — France. — Bascules et balances.
Priestman frères. — Angleterre. — Modèle de grue.
Puvilland (J.). — France. — Moteur électrique.
Ransome (A.) et Cie. — Angleterre. — Régulateur à force centrifuge.
Révillon (H.). — France. — Pompes.
Rikkers (A.). — France. — Machines à vapeur et locomobiles.
Rous (E.). — France. — Robinetterie.
Roux fils. — France. — Courroies.
Roy (B.) et Cie. — Suisse. — Roues hydrauliques et pompes (dessins).
Saive (A.). — France. — Régulateur à force centrifuge; petit moteur à vapeur.
Samain. — France. — Ascenseurs et pompes.
Schabaver et Fourès. — France. — Publications techniques.
Schick (G.). — Suisse. — Raccord pour tuyaux.
Shanks (A.) et fils. — Angleterre. — Machine à vapeur.
Simon-Perret frères. — France. — Poulies.
Sinson Saint-Albin. — France. — Robinetterie.
Société anonyme de Commentry et Fourchambault. — France. — Machine à essayer les métaux.
Société anonyme des lièges appliqués à l'industrie. — France. — Enveloppes isolantes.
Société de constructions navales du Havre. — France. — Treuil à vapeur.
Société industrielle de Lyon. (Diplôme.) — France. — Publications techniques.
Société des sciences industrielles de Lyon. (Diplôme.) — France. — Publications techniques.
Soyer (B.). — France. — Pompes.
Spanner (A.-C.). — Autriche-Hongrie. — Compteurs à eau, système Faller.
Suc (E.-A.). — France. — Appareils de levage et de pesage.
Taurines. — Belgique. — Bascule à ressort.
Taverdon (A.). — Belgique. — Moteurs rotatifs et joints pour tuyaux.
Thévenin frères. — France. — Robinetterie.
Thiébault et fils. — France. — Pompes.
Thiollier, Guéraud et Macabies. — France. — Machine à vapeur.

Torrilhon, Verdier et Cie. — France. — Courroies et clapet en caoutchouc. Gr. VI.
Tulpin frères. — France. — Pompe rotative. —
Twibill (J.). — Angleterre. — *Economiser*. Cl. 54.
Underwood belting Company. — États-Unis. — Courroies.
Vabe. — France. — Injecteur.
Valdelièvre (P.). — France. — Robinetterie et compteur d'eau.
Varrot (H.-V.). — France. — Poulain.
Velliet frères et Lescure. — France. — Chaudière.
Versé, Spelmans, A. Brichot et Cie. — Belgique. — Courroies.
Victoor, Fourcy et Cie. — France. — Chaudière.
Wigzell et Halsey. — Angleterre. — Machine de Brotherhood.
Willans. — Angleterre. — Machine à trois cylindres.
Wimmerlin (J.). — France. — Balances.
Woods, Cocksedge et Cie. — Angleterre. — Machine à vapeur.

Mentions honorables.

Adair et Cie. — Angleterre. — Pompes.
Alley et Maclellan. — Angleterre. — Compteur d'eau.
Anschütz (A.). — Autriche-Hongrie. — Injecteurs et graisseurs.
Ateliers mécaniques de Christiania. — Norwège. — Turbines.
Aubert (A.). — France. — Machine à vapeur.
Aubry (E.-A.). — France. — Pompes.
Auguet et Lefèvre. — France. — Courroies.
Aultman et Cie. — États-Unis. — Locomobiles.
Babonaux (J.-B.). — France. — Pont à bascule.
Barbe (C.). — France. — Régulateur pour turbine.
Bède (E.). — Belgique. — Plans et dessins.
Beffa (A.) et Cie. — France. — Brosses pour nettoyer les tubes de chaudières.
Bellefroid et Lévêque. — Belgique. — Machine à vapeur et grue.
Bernard (V.). — France. — Contrôleur de pression.
Billès. — Algérie. — Noria.
Blanc (J.). — France. — Pananémone.
Blondel et fils. — France. — Purgeur automatique de vapeur.
Blunck (C.). — Norwège. — Grue et pompes.
Bordone (J.). — France. — Chaudière.
Bossière (H.). — France. — Treuil à vapeur.
Bourdin (A.). — France. — Transmission de mouvement.
Bourelly, Raynaud et Laugier. — France. — Pompes.
Bourne (J.) et Cie. — Angleterre. — Machine à vapeur.
Brossement (A.). — France. — Pompes.
Brunius (H.). — Suède. — Appareils électriques appliqués aux machines.

Gr. VI. — Cl. 54.

Bunel (E.). — France. — Pompes.
Caen (L.). — France. — Palier-graisseur.
Cance (A.). — France. — Moteur électrique.
Carnaire et Montellier. — France. — Grille spéciale.
Carver (H.-C.). — Angleterre. — Chargeur mécanique pour grilles.
Casalonga (D.). — France. — Compteur d'eau et palier-graisseur.
Caudron (J.). — France. — Garniture pour presses hydrauliques.
Challéat (J.). — France. — Compteur d'eau.
Christof (W.) et Cie. — Autriche-Hongrie. — Courroies.
Clausollès (E.). — Espagne. — Compteur d'eau.
Collet (Ve E.), née David. — France. — Cordes en cuir et boyaux.
Colombier (F.). — France. — Chaudière.
Commission des eaux courantes. — République Argentine. — Divers dessins.
Compagnie canadienne de caoutchouc. — Angleterre. — Courroies en caoutchouc.
Coux (De la) des Roseaux. — France. — Appareils de graissage.
Craig (A.-F.) et Cie. — Angleterre. — Éjecteur Morton.
Cresson (G.-V.). — États-Unis. — Embrayages et transmission.
Cuau aîné et Cie. — France. — Injecteur Vabe.
Damourette (J.). — France. — Indicateur de niveau.
Dardel (A.). — France. — Turbines.
David (H.). — France. — Pompes.
Debray. — France. — Pompes.
Deck (E.). — Suisse. — Machine à vapeur rotative.
Dégremont et Cie. — France. — Enveloppes isolantes.
Delettrez (G.). — France. — Appareils de graissage.
Depeire (F.). — France. — Amorceur de siphons.
Digon (J.). — France. — Dynamomètre.
Dodman (A.). — Angleterre. — Machine à vapeur.
Douanes chinoises de Canton. — Chine. — Pompes à chapelet.
Dufilhot (V.-P.). — France. — Moteur à ressort.
Dufort (H.). — France. — Petit moteur à eau ou à vapeur.
Edson (M.-B.). — États-Unis. — Accessoires de chaudières.
Ermiloff. — Russie. — Régulateur à force centrifuge.
Ervien (C.-W.). — États-Unis. — Petite machine à vapeur.
Ézéquiel (Oca). — République Argentine. — Modèles de machines.
Faitot frères. — France. — Locomobiles.
Fayet. — France. — Compteur d'eau.
Foucault (T.). — France. — Moteur à ammoniaque.
François (S.). — France. — Locomobiles.
Freissler (A.). — Autriche-Hongrie. — Ascenseur et monte-charge (dessins).
Gay (P.-T.). — France. — Roues à augets.
Girodias (L.). — France. — Pompes.

Giroud (H.). — France. — Régulateur de pression. Gr. VI.
Gokmann. — Russie. — Combinaisons cinématiques. —
Goria (C.). — Italie. — Mesureur pour essais de chaudières. Cl. 54.
Green (D.-C.). — États-Unis. — *Economiser.*
Guillebeaud (T.). — France. — Pompes.
Gunzbürger. — France. — Moteur à ressort.
Haller (J.). — France. — Tubes en tôle.
Hanarte et Balant. — Belgique. — Purification des eaux pour chaudières.
Harrington (E.) et fils. — États-Unis. — Appareils de levage.
Henry (E.). — France. — Machine à vapeur et pompes.
Hindley (E.-S.). — Angleterre. — Locomobiles.
Hirt frères. — France. — Pompe rotative.
Holmes et fils. — Angleterre. — Locomobiles.
Howe machine Company. — Angleterre. — Moteur électrique.
Huron aîné. — France. — Courroies.
Jacobs (W.-H.). — Pays-Bas. — Machine à vapeur rotative.
Kohler (J.). — Suisse. — Déchets de coton pour machines.
Koopmann (H.-J.). — Pays-Bas. — Injecteurs.
Kuhn frères et Hoffmann. — France. — Instruments de pesage.
Kurtz (A.). — France. — Joint universel.
Lacour (G.). — France. — Pompes centrifuges.
Lagache (H.). — France. — Modèles de machines.
Lamarre (J.-B.). — France. — Pompes et presses hydrauliques.
Larochaymond (A.). — Belgique. — Machine à vapeur.
Lartigue (H.). — France. — Moteur funiculaire.
Laurent (J.). — France. — Publication technique.
Lawrence et Porter. — Angleterre. — Pompes centrifuges.
Lefèvre et fils et Denis. — France. — Robinets à vis.
Legrand (A.). — France. — Joints pour tuyaux.
Legrand (A.). — France. — Machine à vapeur.
Legrand (L.). — France. — Joints métalliques.
Legrand (P.-A.). — France. — Pompe rotative.
Letellier (E.). — France. — Pompes à chapelets.
Levasseur (L.-F.). — France. — Locomobile.
Lichtenstein. — France. — Courroies.
Liénard-Benoît. — France. — Chaudière.
Louis (C.). — France. — Crics.
Maiche (L.). — France. — Alimentateur de chaudières.
Major (V.). — Danemark. — Emploi du pétrole comme anti-incrustant.
Mancini (C.) — France. — Chaudière.
Manzanedo (Don Esteban). — Espagne. — Petits modèles de machines.
Maréchal (C.). — France. — Écouvillons pour tubes de fumée.
Maria (S. de). — Italie. — Indicateur de vitesse.

Gr. VI. Marion (J.). — France. — Modèles de machines.
— Marshall (A.) et Cie. — Angleterre. — Chaudières.
Cl. 54. Martin (P.). — France. — Machine à vapeur rotative.
Martineau et Smith. — Angleterre. — Robinetterie.
Masson (A.). — France. — Courroies.
Mast (P.). — France. — Crics.
Mathelin et Garnier. — France. — Compteur d'eau.
Mayer (E.). — Autriche-Hongrie. — Moulinets pour jaugeage de cours d'eau.
Mikkelsen (N.). — Danemark. — Pompe centrifuge.
Milesi (A.). — Italie. — Condenseur triple.
Mills (R.). — Angleterre. — Pompe.
Moison. — France. — Thermo-régulateur.
Monnier (P.). — France. — Vis différentielle.
Monroy et Cie. — France. — Jaugeur de liquides.
Moulard (L.). — France. — Pompes.
Nathan et Dreyfus. — États-Unis. — Injecteurs.
Nielsen (J.-F.). — Norwège. — Treuil à eau ou à vapeur.
Noël (A.). — France. — Régulateur à force centrifuge.
Norris (S.-E.) et Cie. — Angleterre. — Courroies.
Northey. — Angleterre. — Pompe à vapeur.
Oriolle (P.). — France. — Moulin à vent.
Oscillating pump Company. — États-Unis. — Pompe oscillante.
Pavoux (E.) et Cie. — Belgique. — Courroies en caoutchouc.
Pernolet (A.). — France. — Publications techniques.
Perret (M.). — France. — Foyers pour chaudières.
Perrier (L.). — France. — Moteur à ressort.
Perroncel aîné (Vve et Cie). — France. — Cuir-feutre pour joints.
Perrotte et Tatin. — France. — Indicateur magnétique du niveau de l'eau.
Petit (E.). — France. — Balances.
Pézerat. — France. — Moteur hydraulique.
Pilter (T.). — France. — Pompes et turbines.
Poillon. — France. — Publications techniques.
Poirot. — France. — Machine à vapeur.
Rachel (H.). — France. — Pompes.
Raffard (N.). — France. — Appareil pour contrôler le chauffage des tourillons.
Rampon. — Algérie. — Indicateur de niveau.
Regnard (P.). — France. — Obturateur de tubes de chaudières tubulaires.
Roser (N.). — France. — Chaudière.
Rownson Drew et Cie. — Angleterre. — Machine à vapeur à grande vitesse.
Rucher frères. — France. — Machine à vapeur.
Sainte (A.). — France. — Compteur de tours.
Salomon et Touchais. — France. — Pompes rotatives.

Saurel. — France. — Graisseur. Gr. VI.
Schrabetz (E.). — Autriche-Hongrie. — Robinets à eau. —
Sculfort, Maillard et Meurice. — France. — Appareils de levage. Cl. 54.
Séraphin frères. — France. — Chaudières.
Siry, Lizars et Cie. — France. — Compteur d'eau.
Société anonyme pour l'épuration et le filtrage des eaux. — Belgique. — Épurateurs et filtres.
Société des hauts fourneaux et ateliers de construction de Marquise. — France. — Machine à vapeur.
Strube (H.). — France. — Régulateur à force centrifuge.
Tavernier (H.). — France. — Surchauffeur de vapeur.
Taylor manufacturing Company. — États-Unis. — Locomobiles.
Thauvoye et Dernoncourt. — France. — Registre mécanique pour chaudières.
Theiss. — Italie. — Distribution de vapeur.
Thiébault (G.). — France. — Palier-graisseur.
Toulet aîné. — France. — Machine à vapeur.
Touzelin (C.). — France. — Moulin à vent.
Turner (F.-W.). — Angleterre. — Machine à vapeur.
Tylor (J.) et fils. — Angleterre. — Compteurs d'eau.
Vaissier et fils aîné. — France. — Bascules.
Valck-Virey. — France. — Machine à vapeur.
Varale (A.). — Italie. — Courroies.
Verdié (J.). — France. — Système de combustion dans les foyers.
Verrier. — France. — Machine à vapeur rotative.
Viklund (W.). — Suède. — Pompes rotatives.
Vivet et fils. — France. — Réchauffeur d'eau alimentaire.
Wackernie. — France. — Grille mécanique.
Wibart (P.-F.-E.). — France. — Machine à vapeur.

COLLABORATEURS.

Diplôme équivalent à une médaille d'or.

Zimmermann (Frigyes), directeur des ateliers des chemins de fer de l'État de Hongrie. — Autriche-Hongrie.

Médailles d'argent.

Beaudet (E.), ingénieur de la Compagnie de Fives-Lille. — France.
Monneins, ingénieur de la maison A. Piat. — France.
Stierlin (E.), ingénieur de la maison Escher Wyss et Cie. — Suisse.
Tavernier (W.), de la maison Imbert frères. — France.
Tissot-Bresson, ingénieur de la maison Farcot et ses fils. — France.
Züblin, ingénieur de la maison Sulzer frères. — Suisse.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

Médailles de bronze.

Barat (E.-X.), monteur mécanicien de la maison E. Windsor et fils. — France.
Chatelat, ouvrier chef de la maison A. Girard. — France.
Courtois (C.-J.), contremaître de la maison Belleville et Cie. — France.
Fauvel, ouvrier de la maison Farcot et ses fils. — France.
Parent (J.-F.), chef des travaux de la maison Chevalier, Grenier et Droux. — France.
Pfau, contremaître de la Société suisse. — Suisse.
Piat (C.), contremaître de la maison E. Bourdon. — France.
Secourjeon (L.), conducteur de machines de la maison Lecouteux et Garnier. — France.
Somasco (C.), ingénieur de la maison Geneste, Herscher et Cie. — France.
Stoessel (M.), ingénieur de la maison Socin et Wick. — Suisse.
Violette, de la maison Lecouteux et Garnier. — France.

Mention honorable.

Platonoff (A.), attaché à l'École impériale de Moscou. — Russie.

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

CHAPITRE PREMIER.

RÉSUMÉ DES OPÉRATIONS DU JURY.

CHAPITRE II.

ENSEMBLE DE LA CLASSE 54.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

CHAPITRE III.

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR.

SECTION I.

GÉNÉRALITÉS.

SECTION II.

PRINCIPALES CHAUDIÈRES DE L'EXPOSITION.

SECTION III.

ACCESSOIRES DE CHAUDIÈRES.

SECTION IV.

FOYERS, FOURNEAUX ET CHEMINÉES.

CHAPITRE IV.

MACHINES À VAPEUR.

SECTION I.

GÉNÉRALITÉS.

SECTION II.

MACHINES FIXES.

SECTION III.

MACHINES LOCOMOBILES, MI-FIXES ET DIVERSES.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION IV.

RÉGULATEURS ET MODÉRATEURS DE MOUVEMENT.

CHAPITRE V.

MACHINES MOTRICES DIVERSES.

SECTION I.

MACHINES À AIR CHAUD, À GAZ, ETC.

SECTION II.

MOTEURS ÉLECTRIQUES ET AUTRES.

CHAPITRE VI.

MACHINES HYDRAULIQUES.

SECTION I.

MACHINES HYDRAULIQUES ÉLÉVATOIRES.

SECTION II.

RÉCEPTEURS HYDRAULIQUES.

SECTION III.

ACCUMULATEURS ET PRESSES HYDRAULIQUES.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION IV.

APPAREILS HYDRAULIQUES DIVERS.

CHAPITRE VII.

AIR COMPRIMÉ OU EN MOUVEMENT.

CHAPITRE VIII.

TRANSMISSION DU TRAVAIL.

SECTION I.

COURROIES. — SYSTÈMES FUNICULAIRES.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

SECTION II.

ENGRENAGES, EMBRAYAGES, DÉCLICS.

SECTION III.

TRANSMISSIONS DIVERSES.

SECTION IV.

APPAREILS DE GRAISSAGE, JOINTS, ETC.

CHAPITRE IX.

MACHINES SERVANT À LA MANŒUVRE DES FARDEAUX.

CHAPITRE X.

MESURE DU TRAVAIL ET DE LA FORCE.

SECTION I.

APPAREILS DE PESAGE.

SECTION II.

DYNAMOMÈTRES. — COMPTEURS. — INDICATEURS.

CHAPITRE XI.

PIÈCES DE MÉCANISME DÉTACHÉES.

CHAPITRE XII.

OBJETS DIVERS NE RENTRANT PAS DANS LES CATÉGORIES PRÉCÉDENTES.

CHAPITRE XIII.

QUESTIONS GÉNÉRALES ET RÉSUMÉ.

TABLE DES FIGURES.

CHAPITRE III.

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR.

SECTION II.

PRINCIPALES CHAUDIÈRES DE L'EXPOSITION.

SECTION III.

ACCESSOIRES DE CHAUDIÈRES.

SECTION IV.

FOYERS, FOURNEAUX ET CHEMINÉES.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

CHAPITRE IV.

MACHINES À VAPEUR.

SECTION II.

MACHINES FIXES.

SECTION III.

MACHINES LOCOMOBILES, MI-FIXES ET DIVERSES.

SECTION IV.

RÉGULATEURS ET MODÉRATEURS DE MOUVEMENT.

CHAPITRE V.

MACHINES MOTRICES DIVERSES.

SECTION I.

MACHINES À AIR CHAUD, À GAZ.

CHAPITRE VI.

MACHINES HYDRAULIQUES.

SECTION I.

MACHINES HYDRAULIQUES ÉLÉVATOIRES.

SECTION II.

RÉCEPTEURS HYDRAULIQUES.

SECTION III.

ACCUMULATEURS ET PRESSES HYDRAULIQUES.

SECTION IV.

APPAREILS HYDRAULIQUES DIVERS.

CHAPITRE VII.

AIR COMPRIMÉ OU EN MOUVEMENT.

Gr. VI.
—
Cl. 54.

CHAPITRE VIII.

TRANSMISSION DU TRAVAIL.

SECTION I.

COURROIES. — SYSTÈMES FUNICULAIRES.

SECTION II.

ENGRENAGES, EMBRAYAGES, DÉCLICS.

SECTION III.

TRANSMISSIONS DIVERSES.

SECTION IV.

APPAREILS DE GRAISSAGE. — JOINTS.

CHAPITRE X.

MESURE DU TRAVAIL ET DE LA FORCE.

SECTION I.

APPAREILS DE PESAGE.

SECTION II.

DYNAMOMÈTRES. — COMPTEURS. — INDICATEURS.

CHAPITRE XI.

PIÈCES DE MÉCANISME DÉTACHÉES.

CHAPITRE XII.

OBJETS DIVERS NE RENTRANT PAS DANS LES CATÉGORIES PRÉCÉDENTES.