

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DU D^r TOULOUSE

BIBLIOTHÈQUE

DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE ET GÉNIE

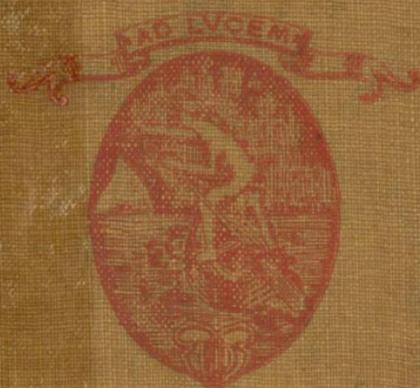
DIRECTEUR

M. D'OCAGNE

Chaudières et Condenseurs

PAR

F. CORDIER



© DOIN ET FILS, ÉDITEURS, PARIS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Octave DOIN et FILS, éditeurs, 8, place de l'Odéon, Paris

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE,

BIBLIOTHÈQUE

DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE ET GÉNIE

Directeur : M. D'OCAGNE

Ingenieur en chef des Ponts et Chaussées
Professeur à l'École des Ponts et Chaussées
Répétiteur à l'École Polytechnique

On oppose assez volontiers, dans le domaine de la mécanique appliquée, l'homme de la théorie à l'homme de la pratique. Le premier, enclin aux spéculations abstraites, est tenu pour préférer aux problèmes qu'offre la réalité ceux qui se prêtent plus aisément aux solutions élégantes et, par suite, pour être disposé à négliger, en dépit de leur importance intrinsèque, telles circonstances qui seraient de nature à entraver le jeu de l'instrument analytique; le second, au contraire, uniquement soucieux des données de l'empirisme, pour regarder toute théorie scientifique comme un luxe superflu dont il vaut mieux se passer.

Ce sont là des tendances extrêmes contre lesquelles il convient de se mettre en garde. S'il est vrai que certains

esprits, séduits par l'imposante beauté de la science abstraite, ont quelque répugnance à se plier aux exigences de la réalité, généralement difficiles à concilier avec une aussi belle harmonie de forme, que d'autres, en revanche, par crainte des complications qu'entraîne à leurs yeux l'appareil analytique, — peut-être aussi, parfois, en raison de leur manque d'habitude à le manier, — tendent à méconnaître les éminents services qu'on en peut attendre, il n'en reste pas moins désirable, pour le plus grand bien des applications, de voir réaliser l'union la plus intime de la théorie et de la pratique, de la théorie qui coordonne, synthétise, réduit en formules simples et parlantes les faits révélés par l'expérience, et de la pratique qui doit, tout d'abord, les en dégager. La vérité est que l'une ne saurait se passer de l'autre, que toutes deux doivent progresser parallèlement. Ce n'est pas d'hier que Bacon l'a dit : « Si les expériences ne sont pas dirigées par la théorie, elles sont aveugles ; si la théorie n'est pas soutenue par l'expérience, elle devient incertaine et trompeuse. »

Développant cette pensée, un homme qui, dans un domaine important de la Mécanique appliquée, a su réaliser, de la façon la plus heureuse, cette union si désirable, s'est exprimé comme suit¹ : « ... La théorie n'a point la prétention de se substituer à l'expérience ni de se poser en face d'elle en adversaire dédaigneux. C'est l'union de ces deux opérations de l'esprit dans une règle générale pour la recherche de la vérité qui constitue l'essence de la méthode : la théorie est le guide qu'on prend au départ, qu'on interroge sans cesse le long de la route, qui instruit toujours par ses réponses, qui indique le chemin le plus sûr et qui découvre l'horizon le plus vaste. Elle saura réunir dans une

¹ Commandant P. CHARBONNIER : *Historique de la Balistique Extérieure à la commission de Gêve*, p. 6.

même explication générale les faits les plus divers, conduire à des formules d'un type rationnel et à des calculs d'une approximation sûre.

« La science aura plus d'audace parce qu'elle aura une base plus large et plus solidement établie. Les résultats expérimentaux, au lieu de faire nombre, viendront à chaque instant contribuer à asseoir la théorie, et ce n'est plus en eux-mêmes que les faits seront à considérer, mais suivant leur place rationnelle dans la science. La théorie saura mettre l'expérimentateur en garde contre les anomalies des expériences, et l'expérience, le théoricien contre les déductions trop audacieuses de la théorie. »

Ces quelques réflexions pourraient servir d'épigraphe à la première moitié de la présente Bibliothèque consacrée à la MÉCANIQUE APPLIQUÉE. Elles définissent l'esprit général dans lequel sont conçus ses volumes : *application rationnelle de la théorie, poussée aussi loin que le comporte l'état actuel de la science, aux problèmes tels qu'ils s'offrent effectivement dans la pratique, sans rien sacrifier des impérieuses nécessités de celle-ci à la plus grande facilité des déductions de celle-là.*

Il ne s'agit pas, dans l'application scientifique ainsi comprise, de torturer les faits pour les forcer à rentrer, vaille que vaille, dans le cadre de théories, plus ou moins séduisantes, conçues à priori, mais de plier la théorie à toutes les exigences du fait ; il ne s'agit pas de forger des exemples destinés à illustrer et à éclairer l'exposé de telle ou telle théorie (comme cela se rencontre dans les Traités de mécanique rationnelle où une telle manière de faire est, vu le but poursuivi, parfaitement légitime), mais de tirer de la théorie toutes les ressources qu'elle peut offrir pour surmonter les difficultés qui résultent de la nature même des choses.

Quand les problèmes sont ainsi posés, ils ne se prêtent généralement pas à des solutions aboutissant directement à

des formules simples et élégantes; ils forcent à suivre la voie plus pénible des approximations successives: mais définir par une première approximation l'allure générale d'un phénomène, puis, par un effort sans cesse renouvelé, arriver à le serrer de plus en plus près, en se rendant compte, à chaque instant, de l'écartement des limites entre lesquelles on est parvenu à le renfermer, c'est bel et bien faire œuvre de science; et c'est pourquoi, dans une Encyclopédie qui, comme son titre l'indique, est, avant tout *scientifique*, la Mécanique appliquée a sa place marquée au même titre que la Mécanique rationnelle.

La seconde moitié de la Bibliothèque est réservée aux divers arts techniques dont l'ensemble constitue ce qu'on est ordinairement convenu d'appeler le GÉNIE tant civil que militaire¹ et maritime.

Ici, de par la force même des choses, l'exposé des principes s'écarte davantage de la forme mathématique pour se rapprocher de celle qui est usitée dans le domaine des sciences descriptives. Cela n'empêche d'ailleurs qu'il n'y ait encore, dans la façon de classer logiquement les faits, d'en faire saillir les lignes principales, surtout d'en dégager des idées générales, possibilité d'avoir recours à une méthode vraiment scientifique.

Telle est l'impression qui se dégagera de l'ensemble de cette Bibliothèque dont les volumes ont été confiés à des spécialistes hautement autorisés, personnellement adonnés à des travaux rentrant dans leurs cadres respectifs et, par cela même, pour la plupart du moins, ordinairement détournés du labeur de l'écrivain dont ils ont occasionnellement accepté la charge en vue de l'œuvre de mise au point dont les conditions générales viennent d'être indiquées.

¹ Le mot étant pris dans sa plus large acception et s'étendant tout aussi bien à la technique de l'Artillerie qu'à l'ensemble de celles qui sont plus particulièrement du ressort de l'arme à laquelle on applique le nom de *Génie*.

Il convient d'ajouter que le programme de cette Bibliothèque, — dont la liste ci-dessous fait connaître une première ébauche, susceptible de revision et de compléments ultérieurs, — s'étendra à toutes les parties qui peuvent intéresser l'ingénieur mécanicien ou constructeur, à l'exception de celles qui ont trait soit aux applications de l'Électricité, soit à la pratique de la construction proprement dite, rattachées, dans cette Encyclopédie, à d'autres Bibliothèques (29 et 33).

Les volumes seront publiés dans le format in-18 Jésus cartonné; ils formeront chacun 400 pages environ avec ou sans figures dans le texte. Le prix marqué de chacun d'eux, quel que soit le nombre de pages, est fixé à 5 francs. Chaque volume se vendra séparément.

Voir, à la fin du volume, la notice sur l'ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE, pour les conditions générales de publication.

TABLE DES VOLUMES ET LISTE DES COLLABORATEURS

*Les volumes publiés sont indiqués par un **

1. **Statique graphique.**
2. **Résistance des matériaux**, par A. MESNAGER, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées.
3. **Stabilité des constructions**. par A. AURIG et G. PIGEAUD, Ingénieurs des Ponts et Chaussées.
4. **Cinématique appliquée. Théorie des mécanismes.**
- * 5. **Dynamique appliquée**, par L. LECORNU, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur à l'École Polytechnique.
6. **Régularisation du mouvement.**
- * 7. **Chronométrie** par J. ANDRADE, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.
- * 8. **Hydraulique générale**, 2 vol., par A. BOULANGER, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
9. **Pneumatique générale.**
10. **Machines hydrauliques.**
11. **Pompes et ventilateurs.**
12. **Air comprimé.**
- * 13. **Moteurs thermiques**, par E. JOUGRET, Ingénieur au corps des Mines, Répétiteur à l'École Polytechnique.
14. **Machines à vapeur**, par F. CORDIER, Chef d'escadron d'artillerie.
15. **Machines à combustion interne**, par A. WITZ, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille, Correspondant de l'Institut.

16. Turbines à vapeur, par le Commandant F. CORDIER.
- *17. Chaudières et condenseurs, par le Commandant F. CORDIER.
- 18 a. Machines-outils.
- 18 b. Machinerie de l'industrie du tabac et des matières similaires, par E. BELOT, Directeur des tabacs au Havre.
19. Appareils de levage, par G. ESPITALIER, Lieutenant-colonel du génie territorial.
20. Câbles téléodynamiques et transporteurs aériens, par A. GISCLARD, Lieutenant-colonel du génie territorial.
21. Mécanique des explosifs, par E. JOUQUET.
- *22 a. Balistique extérieure rationnelle. Problème principal, par P. CHARBONNIER, Chef d'escadron d'Artillerie coloniale.
- *22 b. Balistique extérieure rationnelle. Problèmes secondaires, par le Commandant CHARBONNIER.
- 22 c. Balistique extérieure expérimentale, par le Commandant CHARBONNIER.
- *22 d. Balistique intérieure, par le Commandant CHARBONNIER.
- 22 e. Tir des armes portatives, par H. BATAILLER, Capitaine d'artillerie.
- *23. Résistance et construction des bouches à feu, par L. JACOB, Colonel d'artillerie coloniale, Directeur du Laboratoire central de la Marine.
- *24. Mécanique des affûts, par J. CHALLÉAT, Capitaine d'artillerie.
25. Armes automatiques, par L. CHAUCHAT, Chef d'escadron d'artillerie.
- *26. Artillerie de campagne, par J. PALOQUE, Lieutenant-Colonel d'artillerie, professeur à l'École supérieure de Guerre.
- *26 a. Artillerie navale. Canons, Projectiles, par le Colonel JACOB.
- *26 b. Artillerie navale. Affûts, Poudres, Tir, par le Colonel JACOB.
27. Théorie du navire, par M. BOURDELLE, Ingénieur principal de la Marine, Professeur à l'École du Génie maritime

- 28 a. **Constructions navales. Coque**, par J. ROUGÉ, Ingénieur principal de la Marine.
- 28 b. **Constructions navales. Accessoires**, par J. ROUGÉ.
29. **Machines marines**, par P. DROSNE, Ingénieur de la Marine.
30. **Chaudières marines**, par P. DROSNE, Ingénieur de la Marine.
31. **Torpilles**.
32. **Navigation sous-marine**, C. RADIGUER, Ingénieur de la Marine.
33. **Navigation aérienne**, par R. SOREAU, Ingénieur, ancien élève de l'École polytechnique.
- *34. **Technique du Ballon**, par G. ESPITALIER.
- 35 a. **Ponts en maçonnerie. Calculs et construction**, par A. AURIC, Ingénieur des Ponts et Chaussées.
- *35 b. **Ponts métalliques. Calculs**, par G. PIGEAUD, Ingénieur des Ponts et Chaussées.
- 35 c. **Ponts métalliques. Construction**, par G. PIGEAUD.
- 35 d. **Ponts suspendus et Ponts à transbordeur**, par LEINEKUGEL LE COCQ, Ingénieur de la Marine, Ingénieur de la maison F. ARNODIN, et G. ARNODIN Ingénieur constructeur.
36. **Infrastructure des routes et chemins de fer**.
37. **Chemins de fer. Superstructure**.
- *38. **Locomotives à vapeur**, par J. NADAL, Ingénieur en chef des Mines, Adjoint à l'ingénieur en chef du matériel des chemins de fer de l'Etat.
- 39 a. **Chemins de fer. Matériel de transport. Voitures à voyageurs**, par E. BIARD, Ingénieur principal à la C^{ie} de l'Est.
- 39 b. **Wagons à marchandises**, par E. BIARD.
- 39 c. **Freinage du matériel de chemin de fer**, par P. GOSSEREZ, Ingénieur au service du matériel roulant à la C^{ie} de l'Est.
40. **Chemins de fer. Exploitation technique**.
41. **Chemins de fer d'intérêt local**.
42. **Chemins de fer funiculaires et à crémaillère**.
43. **Tramways urbains**.
44. **Automobiles**, par E. BORSCHNECK, Capitaine du Génie.

- 45. **Bicyclettes et motocyclettes.**
- 46. **Navigation intérieure. Rivières et Canaux.**
- 47. **Fleuves à marées et estuaires**, par L. L. GODARD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.
- 48. **Travaux maritimes**, par A. GUIFFART, Ingénieur des Ponts et Chaussées.
- * 49. **Phares et signaux maritimes**, par RIVIÈRE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.
- 50. **Hydraulique urbaine et agricole.**
- 51 a. **Mines. Méthodes d'exploitation**, par L. CRUSSARD, Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne.
- 51 b. **Mines. Grisou, Explosions, Aérage**, par L. CRUSSARD.
- 51 c. **Mines. Travaux au rocher et Services généraux.**
- * 52. **Ponts improvisés**, par G. ESPITALIER et F. DURAND, Capitaine du Génie.
- * 53 a. **Fortification cuirassée**, par L. DE MONDÉSIR, Lieutenant-Colonel du Génie, Professeur à l'École supérieure de Guerre.
- 53 b. **Technique des cuirassements et bétonnage des places fortes**, par G. ESPITALIER.

NOTA. — La collaboration des auteurs appartenant aux armées de terre et de mer, ou à certaines administrations de l'État, ne sera définitivement acquise que moyennant l'approbation émanant du ministère compétent.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

du **D^r TOULOUSE**, Directeur de Laboratoire à l'École
des Hautes-Études.

Secrétaire général : **H. PIÉRON**, Agrégé de l'Université.

BIBLIOTHÈQUE DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE ET GÉNIE

Directeur : **M. D'OCAGNE**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées
Répétiteur à l'École polytechnique.

CHAUDIÈRES & CONDENSEURS

CHAUDIÈRES

ET

CONDENSEURS

PAR

F. CORDIER

CHEF D'ESCADRON D'ARTILLERIE

Avec 155 figures dans le texte

PARIS

OCTAVE DOIN ET FILS, EDITEURS

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

—
1909

Tous droits réservés

AVANT-PROPOS

L'organisation de la chaudière, c'est-à-dire l'agencement rationnel des diverses parties qui la composent en vue d'obtenir une bonne utilisation du combustible qu'elle consomme, et, aussi, pour réduire au minimum les risques d'explosion, n'a fait de réels progrès, que le jour où les phénomènes dont cet appareil est le siège ont été étudiés par les procédés d'expérimentation de la physique industrielle.

Une étude physique de chacun de ces phénomènes, parmi lesquels il convient de citer la combustion, la vaporisation et la circulation, a donc sa place dans un livre qui fait partie d'une Encyclopédie scientifique.

Mais, comme les théories ne valent guère que par le parti que l'on en peut tirer dans la pratique, à côté d'un exposé, nécessairement sommaire, des idées les mieux acceptées actuellement, on a placé des descriptions de quelques-unes des applications qui en ont été faites. Cette partie descriptive a été réduite, en raison de la nature même de l'ouvrage, aux appareils présentant une disposition caractéristique, ou ayant un intérêt particulier au point de vue de l'application des principes.

Les accumulateurs régénérateurs de M. Rateau, consti-

Chaudières et Condenseurs.

1

tuant de véritables chaudières à très basses pressions, ont, comme les turbines qu'elles alimentent, un très grand intérêt dans certains cas. On a pensé intéresser le lecteur en donnant une description sommaire de ce genre d'appareils.

On peut attribuer aussi un grand nombre de perfectionnements apportés aux chaudières à l'habitude qui s'est introduite dans la pratique industrielle de demander à des essais méthodiques la vérification des éléments caractéristiques tels que la puissance de vaporisation, l'activité de la combustion, etc. Ces essais exigent des mesures, et celles-ci, en donnant une connaissance plus exacte et plus complète des phénomènes, contribuent à établir les théories et, par suite, à engendrer de nouveaux progrès.

Les divers essais se rapportant aux chaudières ont reçu pour cette raison un certain développement. Mais, pour faciliter la compréhension des méthodes exposées, on a dû adjoindre à l'ouvrage proprement dit un préambule, dans lequel on a rappelé, très sommairement, les propriétés de la vapeur, renvoyant le lecteur aux ouvrages spéciaux de l'Encyclopédie, notamment à celui de M. Jouguet sur les moteurs thermiques pour l'étude complète des principes thermodynamiques, appliqués dans les appareils thermiques tels que les chaudières et les condenseurs.

Le condenseur a été aussi dans ces derniers temps l'objet d'un grand nombre de perfectionnements.

Les plus récents se rapportent à l'invention de pompes

à air donnant aux condenseurs qui les emploient un degré de vide tel que celui qu'exigent les turbines à vapeur pour avoir un bon rendement.

Ces pompes, et les condenseurs qu'elles desservent, sont assez différents des appareils employés normalement jusqu'ici ; et, pour ce motif, leur étude a été séparée de celle des condenseurs ordinaires pour être placée dans un chapitre spécial intitulé « condenseurs pour turbines ».

L'ouvrage, dont le plan a été inspiré par les considérations ci-dessus, est divisé en trois parties.

La première est consacrée au rappel des propriétés générales de la vapeur saturée et de la vapeur surchauffée.

La seconde se rapporte aux chaudières. Elle comprend une étude de la combustion et de la fumivoricité des foyers ainsi qu'une description de quelques foyers fumivores ; l'étude de la vaporisation et de la circulation ; une classification des générateurs avec une étude des propriétés des diverses catégories d'appareils, suivies chacune d'une description des types principaux qu'elles comprennent.

Une étude des surchauffeurs, des économiseurs et des réchauffeurs d'eau d'alimentation, accompagnée d'exemples d'installations forme un complément indispensable à l'étude des chaudières proprement dites.

L'épuration des eaux d'alimentation et la description des principaux épurateurs ; l'alimentation des chaudières et l'étude des appareils alimentaires, injecteurs et petits chevaux, font l'objet de chapitres spéciaux donnant un exposé de ces divers sujets avec la description des principaux appareils employés.

Les essais de chaudières sont traités dans un chapitre spécial qui comprend, outre l'essai de vaporisation, l'exposé des méthodes de détermination de l'eau entraînée. Ce chapitre se termine par un exemple de compte rendu d'essais.

Les appareils de contrôle et de sécurité des chaudières et les conduites de vapeur sont étudiés dans les deux derniers chapitres de cette partie.

La troisième partie traite des condenseurs.

Les condenseurs à mélange et les condenseurs à surface sont étudiés à part. Les condenseurs pour turbines et leurs pompes, parmi lesquelles se range la pompe à air, système Leblanc, récemment introduite dans la pratique, font l'objet d'un chapitre spécial.

La troisième partie se termine par des considérations générales sur les réfrigérants.

Enfin, la réglementation française, concernant les appareils à vapeur, qui a dû être citée à plusieurs reprises dans le cours de l'ouvrage, a été mise en annexes à la fin du volume.

CHAUDIÈRES & CONDENSEURS

TITRE PREMIER

RAPPEL DES PROPRIÉTÉS DE LA VAPEUR D'EAU

CHAPITRE PREMIER

VAPEURS SATURÉES

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE LA VAPEUR SATURÉE

1. Définitions. Pression absolue. Pression effective.

— Une *vapeur* est le résultat de la transformation d'un liquide passant à l'état gazeux en restant susceptible de reprendre l'état liquide.

Une vapeur est dite *saturée* lorsqu'elle est en contact avec son liquide générateur.

L'expérience montre que sa pression, qu'on appelle aussi sa *tension*, ne dépend pas du volume qu'elle occupe; elle ne dépend que de sa température.

Si donc on fait varier le volume occupé par une vapeur

saturée et si on lui fournit la chaleur¹ nécessaire pour que sa température reste constante, sa pression ne varie pas tant qu'il subsiste du liquide en contact avec elle.

Supposons que l'on introduise un liquide volatil, de l'eau par exemple, dans la chambre AC d'un baromètre à mercure; le niveau A baisse et s'établit en A₁. La tension de la vapeur, à la température de l'expérience, est égale à la pression d'une colonne de mercure représentée par la différence des niveaux A et A₁ (fig. 1).

Si l'on augmente le volume V₁, en conservant la température constante, une plus grande quantité de liquide disparaît par évaporation, mais le niveau du mercure dans le tube reste invariable tant que liquide n'est pas complètement évaporé (A₂B₂, fig. 1).

Cette propriété des vapeurs s'exprime par la loi suivante :

A une température donnée correspond une tension de vapeur saturée déterminée.

Dans les chaudières à vapeur, le *manomètre* mesure la différence qui existe entre la pression qu'exerce la vapeur à l'intérieur, ou *pression absolue*, et celle qu'exerce l'atmosphère à l'extérieur.

Cette différence de pressions représente la pression que supportent effectivement les tôles de la chaudière, elle s'appelle *pression effective*.

On a donc :

$$p. \text{ absolue} = p. \text{ effect}^e + p. \text{ barométrique.}$$

¹ L'étalon calorifique est la calorie : c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 kilogramme d'eau de 1 degré centigrade. (Plus exactement de 15° à 16°, la température étant mesurée avec l'échelle du thermomètre à hydrogène du Bureau international des poids et mesures.)

Les pressions absolue et effective peuvent s'exprimer en colonnes de mercure de 0^m,76 de hauteur, mesurées à la température de 0° centigrade, ou *atmosphères*.

On a donc approximativement :

$$\text{pression absolue (en atmosphères)} = \text{pression effective (en atmosphères)} + 1 \text{ atmosphère}$$

Dans la pratique on les exprime, généralement, en kilogrammes par centimètre carré.

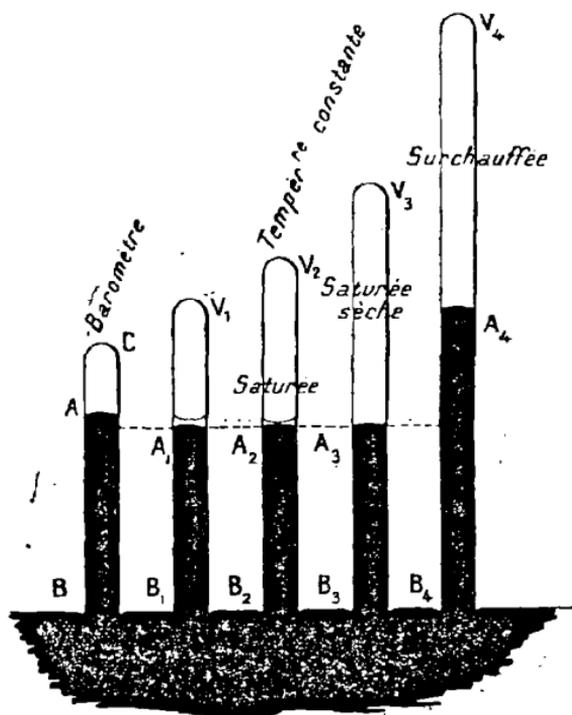


Fig. 1. — Production des vapeurs.

On est conduit parfois à les exprimer en colonnes du fluide que l'on considère, en colonnes d'eau par exemple.

L'évaluation des pressions en colonnes d'eau se fait simplement si on remarque qu'une colonne d'eau à 0° de 10^m,334 de hauteur, équivaut à une colonne de mercure à 0° de 76 centimètres de hauteur, c'est-à-dire à une atmosphère.

On a donc approximativement :

$$\text{pression absolue} = \text{pression effective} + 10^m,334$$

(en mètres d'eau à 0°) (en mètres d'eau à 0°)

$$p_a = p_e + 1 \text{ kilogramme}$$

(kilog. par cm²) (kilog. par cm²)

Si un manomètre marque 12, la pression effective qu'il indique est de 12 kilogrammes par centimètre carré ou 12 atmosphères, suivant qu'il est gradué en kilogrammes par centimètre carré ou en atmosphères, et la pression absolue correspondante est 13 kilogrammes par centimètre carré, ou 13 atmosphères.

On peut exprimer ces pressions en colonnes d'un fluide quelconque, si l'on connaît le poids spécifique de ce fluide par rapport à l'eau.

Dans les *condenseurs*, où la pression est toujours inférieure à la pression atmosphérique, les pressions considérées sont des *pressions absolues*. Elles s'expriment en *degrés de vide*, en millimètres de mercure, ou encore en grammes par centimètre carré, et aussi en pour cent de la pression atmosphérique.

Le vide ou la pression à l'intérieur d'un condenseur, peuvent donc s'indiquer de plusieurs manières :

On dira par exemple : un vide de 70 centimètres. La pression absolue correspondante est de 76 — 70 = 6 centimètres de mercure.

On pourra dire aussi : La pression dans le condenseur est de 60 millimètres de mercure.

Enfin : Le vide est de 90 $\frac{0}{0}$. Dans ce cas, la pression est de 0^{ms}, 1 par centimètre carré.

2. Vapeur saturée sèche. — Si, dans l'expérience ci-dessus, on augmente le volume occupé par la vapeur jusqu'à ce que le liquide disparaisse complètement, la température restant constante, la vapeur ainsi obtenue est dite *vapeur saturée sèche*. La pression ne change pas ; et il ne peut en être autrement, car la vapeur saturée sèche est encore de la vapeur saturée (A_3B_3 fig. 1).

Les chaudières produisent de la vapeur saturée. Cette vapeur ne peut donc prendre l'état de vapeur saturée sèche qu'en dehors de la chaudière proprement dite.

Vapeur surchauffée à température constante. — Si on augmente encore le volume offert à la vapeur en maintenant la température constante, la pression diminue. On dit que la vapeur se surchauffe à température constante (A_4B_4 fig. 1).

Vapeur surchauffée sous pression constante. — La vapeur surchauffée produite par les « surchauffeurs », reçoit de la chaleur lorsqu'elle est séparée du liquide générateur. Elle est à la même pression que la vapeur saturée dont elle provient, mais sa température est supérieure à celle de cette vapeur. Ce dernier mode de surchauffe de la vapeur, à pression constante, est le seul qui soit employé industriellement.

En faisant varier la capacité offerte à la vapeur en sens

inverse, c'est-à-dire de V_2 à V_1 la vapeur devrait, pour conserver une température constante, céder de la chaleur au milieu ambiant. Le fluide passerait de l'état de vapeur surchauffée à température constante à l'état liquide.

Ces résultats expérimentaux montrent que pour transformer une certaine quantité de liquide en vapeur à une température déterminée, il faut non seulement dépenser de la chaleur, mais, en outre, donner à la vapeur un espace en rapport avec le poids du liquide vaporisé.

Si les deux conditions ne sont pas remplies à la fois, la température, et par suite la tension de la vapeur, au lieu de rester constantes, sont variables.

Ainsi, par exemple, si le volume occupé restant constant, on continue à chauffer, la température augmente. Si, le volume occupé augmentant, on cesse de chauffer, la température diminue.

3. Vaporisation de l'eau. — Deux études présentent de l'intérêt dans la vaporisation de l'eau :

1° La variation du volume occupé par l'eau, puis par la vapeur;

2° La quantité de chaleur dépensée dans l'évaporation.

Supposons que l'on transforme un kilogramme d'eau, pris à la température de 0° , en vapeur saturée sèche à la température de t° centigrades¹, à laquelle correspond, d'après les tables de Regnault, une tension de vapeur p .

On suppose ce liquide dans un récipient fermé par un piston pouvant se déplacer, sans frottement, sous l'action

¹ On désigne les températures évaluées à partir du zéro centigrade par un petit t , et les températures absolues, évaluées à partir du zéro absolu, par un grand T .

du fluide et supportant, à chaque instant, une pression par centimètre carré égale à la tension de la vapeur à la température que possède le fluide.

La transformation se fait en deux temps :

(A) Le liquide est échauffé de 0° à t° . Il reçoit q calories, son volume varie très peu. Sa pression augmente de 1 kilogramme (pression atmosphérique) à p kilogrammes par centimètre carré. Cette phase de l'opération est représentée par AB.

Regnault a donné, pour déterminer cette quantité l'expression :

$$q = t + 0,00002t^2 + 0,0000003t^3,$$

c'est-à-dire pratiquement $q = t$.

La quantité de chaleur q sert presque entièrement à augmenter la chaleur interne, car le travail externe de dilatation est négligeable¹.

¹ Lorsqu'on communique une certaine quantité de chaleur à un corps dont la composition chimique ne varie pas, il se manifeste trois effets distincts :

1° Une variation de température due à la chaleur dite sensible ;
 2° Une production de travail interne dû à la variation des actions moléculaires. Un changement de volume produit des variations des intervalles moléculaires et, par suite, des travaux internes.

Rien n'autorise à admettre qu'une partie de l'énergie interne dépend uniquement de la température. On ne peut donc pas séparer la chaleur sensible de celle qui correspond au travail interne et on réunit les deux effets dans une seule et même dénomination appelée « Variation de l'énergie interne » ;

3° Une production de travail externe : c'est celui qui est produit par le corps pour vaincre la pression qui s'oppose à son augmentation de volume.

Pour les gaz dits parfaits, et aussi pour les vapeurs surchauffées qui ont les propriétés des gaz, ces trois effets se réduisent à deux. Les

(B) Le liquide à la température t° est vaporisé à cette

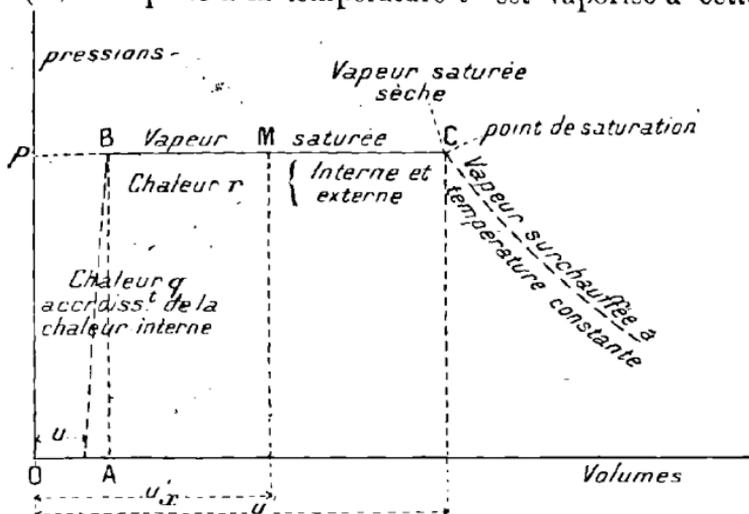


Fig. 2. — Diagramme de la vaporisation de l'eau.

température. Il reçoit r calories. Cette quantité de cha-

gaz parfaits paraissent être, en effet, des fluides dont les intervalles moléculaires sont assez grands pour que le travail des forces moléculaires soit négligeable, quelle que soit la variation de leur volume.

La variation de l'énergie interne se réduit donc à celle de la chaleur sensible :

L'énergie interne de l'unité de poids d'un gaz parfait ne dépend que de sa température et nullement de la valeur particulière de sa pression ou de son volume. (*Loi de Joule.*)

Si donc on donne une quantité de chaleur dQ à un corps de volume v , soumis à une pression p , et possédant une énergie interne U , cette quantité de chaleur produira une variation d'énergie dU et un travail externe $p dv$. On aura, par suite, la relation :

$$dQ = dU + p dv.$$

A étant l'équivalent calorifique du travail, c'est-à-dire le nombre de calories, qui, d'après le principe de l'équivalence, équivaut à 1 kilogrammètre.

leur nécessaire pour vaporiser à t° un kilogramme d'eau, pris à cette même température, est appelée *chaleur latente de vaporisation*.

La pression reste constante et égale à p tant qu'il reste du liquide à vaporiser. Le volume augmente et prend la valeur u' . L'opération est représentée par la ligne BC. B est le point représentatif du commencement de la vaporisation, l'eau occupe le volume primitif u ,¹ augmenté de sa dilatation. Le point C représente la fin de la vaporisation.

Pendant toute la vaporisation, c'est-à-dire de B en C, la vapeur est saturée.

En C, elle est saturée sèche.

Dans toute la durée de la vaporisation, le poids de la vapeur ajouté au poids du liquide est égal à 1 kilogramme.

On dit que dans l'évolution représentée par BC la vapeur est humide, par opposition au cas où le poids d'eau total est entièrement transformé en vapeur (cas de la vapeur sèche) et qui correspond à l'état défini par le point C.

On définit « *titre de la vapeur* » le rapport du poids x de vapeur sèche au poids total, de 1 kilogramme, du mélange.

Le titre x varie de 0 à 1 lorsque le fluide composé d'eau et de vapeur passe de l'état figuré par le point B à celui qui est figuré par le point C. Il est donc défini, pour une vaporisation du kilogramme d'eau figurée par un certain point M, par le rapport $\frac{BM}{BC}$.

Si l'on continuait à augmenter le volume de la vapeur en lui fournissant la quantité de chaleur nécessaire pour

¹ Considérablement amplifié dans la figure 2.

qu'elle conserve la température t° , elle se surchaufferait à température constante.

En opérant de la même façon la transformation de 1 kilogramme d'eau, successivement, à toutes les températures on obtiendrait des diagrammes semblables à celui qui est figuré (fig. 2).

Tous les points tels que C, appelés *points de saturation*, seraient sur une courbe, appelée *courbe limite*¹, séparant le plan en deux régions, l'une correspondant à la vapeur humide, l'autre à la vapeur surchauffée. Les points de la courbe correspondent aux états où la vapeur est saturée sèche.

4. Chaleur totale de vaporisation. Chaleur latente de vaporisation. — La quantité de chaleur totale nécessaire pour transformer un kilogramme d'eau, pris à 0° , en vapeur sèche à la température de t° est :

$$\lambda = q + r$$

q pour échauffer l'eau jusqu'à t° , r pour la vaporiser à cette température (latente de vaporisation).

Cette quantité de chaleur est appelée *chaleur totale de vaporisation*.

Regnault a trouvé, expérimentalement, que cette quantité de chaleur pouvait être représentée par l'expression :

$$\lambda = 606,5 + 0,305t$$

et si l'eau, au lieu d'être à 0° , était à θ° au moment où on commence à lui fournir de la chaleur :

$$\lambda = 606,5 + 0,305t - \theta.$$

¹ ZEUNER a donné pour l'équation de cette courbe

$$p(u)^{1,0646} = 1,775$$

u exprimé en mètres cubes, p en kilogrammes par centimètre carré.

En négligeant les termes en t et en t^2 , on a pour la *chaleur latente de vaporisation* :

$$r = \lambda - q = 606,5 - 0,695t.$$

Cette chaleur latente r peut se mettre sous une autre forme en remarquant qu'elle comprend deux parties : une *chaleur latente interne* ρ qui sert à augmenter l'énergie interne; une *chaleur latente externe* qui peut être transformée en travail et qui a pour expression $Ap(u' - u)$; ou, comme u est négligeable devant u' , Apu' .

A étant l'équivalent calorifique du travail¹.

¹ **Etat physique d'un corps.** — L'état physique d'un corps, abstraction faite de tout ce qui agit sur lui, sauf la chaleur, peut être considérée comme suffisamment caractérisé par son volume spécifique v , sa température t et la pression p qu'il supporte. Il dépend donc de p , v et t . D'autre part, la physique donne une relation $f(p, v, t) = 0$, appelée *équation typique*, entre ces grandeurs variables. L'état physique d'un corps ainsi compris est donc complètement défini par deux d'entre elles, p et v , par exemple.

Lorsqu'un corps prend une série d'états caractérisés par p_1, v_1, p_2, v_2 , etc., on dit qu'il suit un *cycle de transformations*.

Si on représente l'état d'un corps par la position d'un point du plan, un cycle est représenté par une ligne continue.

Le cycle est dit *fermé*, lorsque le corps revient à son état initial après avoir subi une série de transformations. Un cycle fermé est représenté par une courbe fermée (fig. 3). L'aire comprise à l'intérieur de cette courbe représente le travail accompli pendant la transformation.

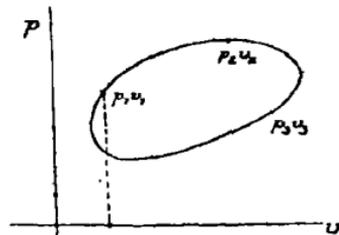


Fig. 3. — Cycle fermé.

Principe de Mayer ou de l'équivalence. — Supposons qu'un

On a par suite :

$$r = \rho + \Lambda pu'.$$

La *chaleur totale de vaporisation* se décompose alors de la manière suivante :

$$\lambda = q + \rho + \Lambda pu' = \begin{cases} \text{chaleur interne } q + \rho \\ \text{chaleur externe } \Lambda pu' \end{cases}$$

Si au lieu de transformer un litre d'eau en vapeur sa-

corps se transforme suivant un cycle fermé en absorbant une certaine quantité Q de chaleur positive ou négative ; cette chaleur n'a servi qu'à produire du travail externe \mathcal{E}_e , positif ou négatif, suivant que la chaleur est elle-même positive ou négative, c'est-à-dire reçue ou rendue, puisque l'énergie interne a repris sa valeur.

Donc, lorsqu'on communique de la chaleur à un corps suivant un cycle fermé, il n'y a d'autre effet produit qu'un certain travail extérieur exécuté \mathcal{E}_e . Cet effet est indépendant du corps évoluant et des circonstances de l'évolution.

L'expérience montre, en outre, qu'il existe un rapport constant E entre le travail produit \mathcal{E}_e et la chaleur disparue Q dans l'accomplissement du cycle fermé.

Ce rapport constant $\frac{\mathcal{E}_e}{Q} = E$, est l'équivalent mécanique de la chaleur.

On a trouvé que E est égal à 425, c'est-à-dire que 1 calorie équivaut à 425 kilogrammètres et, d'après de récentes déterminations, à $4,187 \cdot 10^7$ ergs.

Donc, 1 kilogrammètre = $\frac{1}{425}$ calorie, ou 1 kilogrammètre équivaut à $A = \frac{1}{E}$ calories.

A est appelé *équivalent calorifique du travail*.

turée sèche on l'avait transformé en vapeur de titre x , la chaleur totale de vaporisation eût été $\lambda_x = q + rx^4$.

5. **Poids du mètre cube de vapeur. Volume occupé par 1 kilogramme de vapeur à t° .** — Le poids spécifique de la vapeur d' est un élément qui intervient souvent dans l'étude des propriétés de la vapeur et des appareils qui l'utilisent; il importe donc d'en connaître la valeur aux différentes températures.

La détermination du poids spécifique de la vapeur à la température t , revient à celle du volume u' qu'occupe un kilogramme de vapeur saturée sèche à cette température.

Elle peut se faire expérimentalement, mais il est plus commode d'avoir recours à la thermodynamique pour ramener cette détermination à un calcul dans lequel n'interviennent que des quantités ayant fait déjà l'objet de mesures expérimentales.

¹ REGNAULT a déterminé les valeurs de q et de r pour différents liquides volatils. Il a trouvé que q et r pouvaient être représentés par les expressions :

$$q = at + bt^2 + ct^3$$

$$r = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$$

$a, b, c, A, B, C,$ ayant les valeurs comprises dans le tableau ci-dessous :

	a	b	c	A	B	C	D
Eau	1,00000	2.10^{-5}	3.10^{-7}	606,5	-0,695	-2.10^{-5}	$-3,10^{-7}$
Ether	0,52901	29.10^{-5}	»	94	-79.10^{-3}	-85.10^{-5}	»
Chloroforme .	0,23235	5.10^{-5}	»	67	-95.10^{-3}	-5.10^{-5}	»
Sulfure de carbone . . .	0,23523	8.10^{-5}	»	90	-89.10^{-3}	-49.10^{-5}	»
Acide sulfureux	0,36333	$0,4.10^{-5}$	»	91,4	-236.10^{-3}	-135.10^{-6}	»
Ammoniaque .	1,0058	182.10^{-5}	»	313,6	-625.10^{-3}	-2111.10^{-6}	»

Cette méthode consiste à admettre que, entre des limites de températures infiniment voisines t et $t - dt$, le fluide peut être considéré comme suivant l'évolution d'un cycle de Carnot.

Le fluide reçoit la chaleur r à t , cède r' à $t - dt$, et l'on a :

$$\frac{r - r'}{r} = \frac{t - (t - dt)}{t} = \frac{dt}{t}$$

aux températures t et $t - dt$ correspondent les pressions p et $p - dp$.

L'accroissement de volume pendant la vaporisation, est u' . Le travail extérieur du cycle est $u' dp$.

La quantité de chaleur correspondante est :

$$Au' dp = r - r' = r \frac{dt}{t}.$$

On a donc :

$$Apu' = \frac{rp}{t} \frac{dt}{dp}$$

et l'on peut calculer Apu' , c'est-à-dire u' si l'on connaît la loi $t = \varphi(p)$ qui relie les températures aux pressions. Cette loi a été donnée par Regnault; on a par suite :

$$u' = \frac{1}{A} \frac{r}{t} \frac{dp}{dt} = E \frac{r}{t} \frac{dp}{dt} \quad (\text{Equation de Clapeyron})$$

dans laquelle

E est l'équivalent mécanique de la chaleur ;

r la chaleur latente de vaporisation à t ;

t la température correspondant à u' ;

$\frac{dp}{dt}$ la variation de la pression à la température déduite des tables de Regnault.

On obtient aussi la quantité Apu' , c'est-à-dire la quantité de chaleur externe, ou pouvant être transformée en

travail mécanique, que contient 1 kilogramme de vapeur saturée sèche à la température t .

La même quantité Apu' peut être tirée de $Apu' = \lambda - (q + \rho)$ lorsqu'on connaît λ , car la quantité de chaleur ρ est donnée par l'expression $\rho = 575,40 - 0,791 t$, trouvée empiriquement par Zeuner.

De la connaissance de u' correspondant à une température déterminée, on tire celle du poids d'un mètre cube de vapeur d' à cette température. Les résultats obtenus figurent dans « les tables de la vapeur d'eau saturée ».

Ils montrent que vers 80 degrés le poids spécifique de l'eau liquide (déterminé par Rossetti entre 0 et 100° et par Hirn entre 100 et 180°), est environ 3000 fois plus considérable que celui de la vapeur sèche ; que le rapport est encore de 900 vers 120°, de 300 vers 160° et de 185 vers 180 degrés.

Equation typique de la vapeur d'eau. — L'équation typique de la vapeur d'eau serait donnée par l'expression $p(u' + \alpha) = RT$ (Knoblauch Linde et Klebe).

Avec $\alpha = 0,016$;

$R = 47,16$;

$T = 273^\circ + t^\circ$;

u' volume en mètres cubes ;

p la pression en kilogrammes par mètre carré.

Densité de la vapeur saturée. — La densité d'une vapeur est le rapport entre le poids d'un certain volume de cette vapeur et le poids du même volume d'air dans les mêmes conditions de température et de pression.

La densité de la vapeur d'eau varie de 0,621 à 0,676 lorsque la pression varie de 0^{atm}, 1 à 10 atmosphères.

6. **Tables de la vapeur d'eau saturée.** — Les divers

résultats concernant la vapeur d'eau sont groupés dans les tables ci-dessous qui contiennent outre les renseigne-

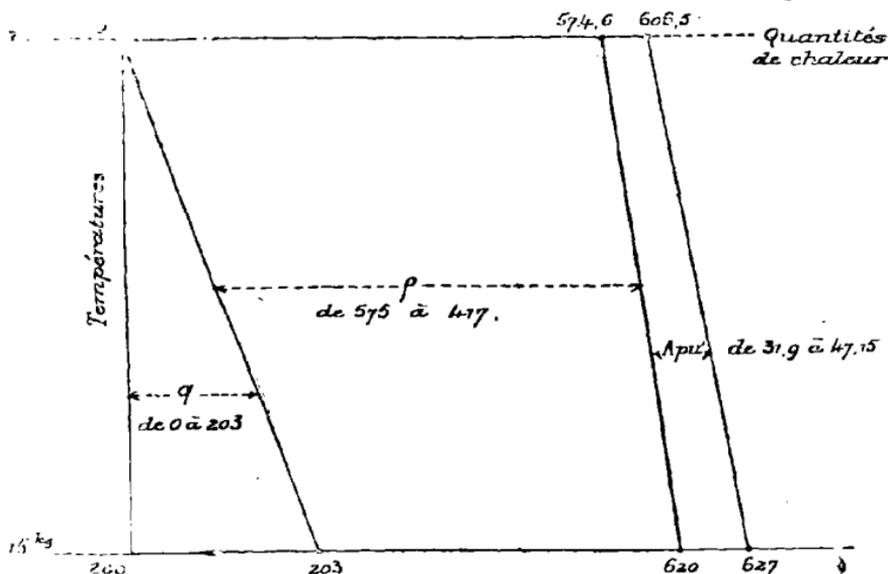


Fig. 4. — Valeurs des quantités de chaleur correspondant à la vaporisation de l'eau.

ments tirés des tables de Regnault divers éléments dont la connaissance présente quelque utilité dans la pratique.

Ces tables montrent que pour t variant de 0° à 200° centigrades et p de 1 kilogramme par centimètre carré à 15 kilogrammes par centimètre carré environ,

q	varie de	0	à	203	calories
r	—	606.5	à	466.	id.
λ	—	606.5	à	667.	
ρ	—	575	à	417	
$\Delta pu'$	—	31.9	à	47.15	

les variations sont figurées dans le diagramme¹ fig. 4.

¹ E. Sauvage. La machine à vapeur.

Extrait des tables de la vapeur d'eau saturée.

p pressions absolues	t tem- pérature	$\lambda = q + r$			u' volume de 1 kg. d'eau vapori- sée	Apu' chaleur externe 1 kg. vapeur	δ poids m ³ vapeur saturée sèche	$\int_{273}^T \frac{dT}{T}$ entropies de 1 kg. d'eau
		λ chaleur totale vapori- sation	q chaleur du liquide	r = p + Apu' chaleur latente vapori- sation				
kg. par cm ²	centigr.	calories	calories	calories	m ³	caloris	kg.	
0,1	45 573	620,400	45,643	574,757	15,047	35,405	0,0664	0,15469
0,2	59 751	624,724	59,885	564,839	7,799	36,702	0,1282	0,19845
0,3	68 738	627,465	68,930	558,545	5,313	37,507	0,1882	0,22529
0,4	75 461	629,516	75,704	553,812	4,048	38,102	0,2470	0,22492
0,5	80 892	631,172	81,182	549,990	3,279	38,576	0,3049	0,26052
0,6	85 482	632,572	85,815	546,757	2,760	38,973	0,3621	0,27354
0,7	89 458	633,785	89,832	543,953	2,387	39,314	0,4188	0,28469
0,8	93 002	634,866	93,416	541,450	2,104	39,615	0,4749	0,29453
0,9	96 176	635,834	96 628	539,206	1,883	39,881	0,5307	0,30327
1,0	99 078	636,719	99,566	537,153	1,705	40,124	0,5860	0,31120
2,0	119 560	642,966	120,359	522,607	0,888	41,779	1,125	0,36562
3,0	132 798	647,003	133,852	513,151	0,606	42,794	1,646	0,39944
4,0	142 808	650,056	144,089	506,967	0,462	43,528	2,157	0,42437
5,0	150 987	652,551	152,475	500,076	0,375	44,107	2,659	0,44434
6,0	157 943	654,673	159,624	495,049	0,315	44,582	3,156	0,46108
7,0	164 024	656,527	165,884	490,641	0,273	44,984	3,646	0,47551
8,0	169 459	658,185	172,493	486,692	0,240	45,334	4,133	0,48827
9,0	174 365	659,681	176,563	483,118	0,215	45,641	4,616	0,49967
10,0	178 886	661,060	181,243	479,817	0,195	46,390	5,095	0,51002
12,0	186 935	663,515	189,591	473,924	0,164	45,916	6,044	0,52843
15,0	197 237	666,657	203,317	466,340	0,133	46,954	7,452	0,55149
20,0	211 341	670,959	215,066	455,293	0,101	47,664	9,760	0,58215
25,0	222 964	674,504	227,283	447,221	0,0819	48,186	12,032	0,60738
28,5	230 094	676,679	234,807	441,872	0,0722	48,476	13,605	0,62270

Il met en évidence la quantité de chaleur relativement faible utilisable pour produire du travail, extérieur si on la compare à celle qui sert uniquement à produire vaporisation, et qui se retrouve dans la vapeur lorsqu'elle a travaillé dans une machine thermique.

7. Applications des tables de la vapeur d'eau saturée. 1^{re} Application. — Connaissant la pression et le poids d'un mélange d'eau et de vapeur ainsi que le volume qu'il occupe. Titre de la vapeur et poids de vapeur saturée sèche et d'eau contenus dans le mélange?

Données	{	Pression (absolue).	5 kg. par centim. carré.
		Poids du mélange	2 kilogrammes.
		Volume occupé	400 litres.

Les tables donnent pour le volume occupé par un kilogramme de vapeur saturée sèche à la pression de 5 kilogrammes par centimètre carré :

$$u' = 375 \text{ litres}$$

et pour le poids du mètre cube de vapeur sous la même pression :

$$\delta = 2^{\text{kg}},659.$$

En se référant aux notations du § 3 ci-dessus, on a :

$$BC = 2,0 \times 375$$

$$BM = 400.$$

Le titre est

$$x = \frac{BM}{BC} = \frac{400}{2 \times 375}$$

Le poids de vapeur sèche est :

$$0,400 \times 2^{\text{kg}},659.$$

Le poids d'eau est :

$$2^{kg} - 0,400 \times 2^{kg},65g.$$

2^e *Application.* — Quel est le poids de vapeur sèche existant dans le cylindre d'une machine à vapeur aux différents points de la course du piston.

L'indicateur dynamométrique donne le diagramme (P V) d'où l'on tire la valeur de la pression P et celle du volume V correspondant à une position déterminée du piston. La table donne le poids du mètre cube de vapeur sèche correspondant à la pression P.

Le produit $V\delta$ donne le poids de vapeur sèche existant dans le cylindre au point considéré de la course du piston.

CHAPITRE II

VAPEURS SURCHAUFFÉES

8. **Diverses vapeurs surchauffées. Définition.** — Lorsqu'une vapeur saturée continue à recevoir de la chaleur, elle se surchauffe.

Cette surchauffe peut se faire de plusieurs façons :

Sous volume constant. — La pression augmente en même temps que la température.

Sous pression constante. — C'est le cas le plus fréquent, car les surchauffeurs industriels sont organisés pour donner ce genre de surchauffe. Le volume croît en même temps que la température.

Sous température constante. — La pression diminue, le volume augmente.

On peut ainsi surchauffer la vapeur d'eau, ainsi que les vapeurs d'autres liquides, par une compression sans addition de chaleur. L'inverse a lieu pour l'éther.

Les vapeurs surchauffées tendent à se comporter comme des gaz parfaits.

Leur température dépend, en effet, à la fois de leur pression et du volume qu'elles occupent, et on observe que les relations unissant ces éléments entre eux se rapprochent d'autant plus de celles qui expriment les lois de Mariotte, de Gay-Lussac et de Joule, qui régissent les gaz

parfaits, que leur température est plus éloignée de celle qui correspond à l'état de la vapeur saturée¹.

• **Lois régissant les gaz parfaits.** 1^o *Loi de Mariotte.* — A température constante, les volumes occupés par une même masse de gaz sont en raison inverse des pressions qu'elle supporte.

$t = \text{constante}$, on a $pv = p_0v_0 = \text{constante}$, p_0v_0 étant la pression et le volume spécifique à 0°, p, v , étant la pression et le volume spécifique à t °.

2^o *Loi de Gay-Lussac.* — Le coefficient de la dilatation sous pression constante est le même pour tous les gaz. Il est égal à $\alpha = \frac{1}{273}$. Il est indépendant de la température et de la pression, $p = p_0 = \text{constante}$, on a $v = v_0(1 + \alpha t)$.

Equation typique des gaz parfaits. — Des lois de Mariotte et de Gay-Lussac, on déduit l'équation typique des gaz parfaits :

$$pv = p_0v_0(1 + \alpha t)$$

on lui donne la forme suivante :

$$pv = RT \quad \text{en posant} \quad R = \alpha p_0v_0, \\ T = 273 + t \text{ centigrades}$$

T est appelée *température absolue*; on a : température absolue = température centigrade + 273°, p_0 est la pression normale de 10333 kilogrammes par mètre carré, v_0 est le volume en mètres cubes à 0° occupé par 1 kilogramme de gaz.

On peut calculer R pour les différents gaz.

Pour l'air, on a :

$$R = 10333 \times \frac{1}{1,293} \times \frac{1}{273} = 29,28.$$

Pour l'oxygène, l'azote et l'hydrogène, on trouverait

Oxygène	26,5
Azote	30
Hydrogène	422

3^o *Loi de Joule.* — L'énergie interne de l'unité de poids d'un gaz parfait ne dépend que de sa température, et nullement de la valeur particulière de sa pression ou de son volume.

Ces résultats expérimentaux n'ont rien qui puisse surprendre si l'on remarque que tous les gaz étant liquéfiables, les vapeurs surchauffées peuvent être considérées comme des gaz en dehors de leur point de liquéfaction.

Donc, plus une vapeur surchauffée s'éloigne de son point de liquéfaction c'est-à-dire de l'état, de vapeur saturée sèche, plus elle se rapproche de l'état de gaz parfait et, par suite, plus il est légitime de lui appliquer les lois de Mariotte, de Gay-Lussac et de Joule.

Densité de la vapeur surchauffée. — Cahours a trouvé pour la densité de la vapeur surchauffée sous la pression constante d'une atmosphère les valeurs suivantes :

$$\text{à } 250^{\circ} \quad 0,6182$$

$$\text{à } 107^{\circ} \quad 0,645$$

Ces chiffres diffèrent peu du nombre 0,622 trouvé par Gay-Lussac sous la pression atmosphérique et à la température de 120°.

9. Chaleur spécifique de la vapeur surchauffée.

— La chaleur spécifique d'une vapeur surchauffée est définie, comme celle d'un gaz, par la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kilogramme de vapeur surchauffée. On distingue deux chaleurs spécifiques, *sous pression constante* et *sous volume constant*. Elles sont définies par les expressions :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = C \text{ sous pression constante}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = c \text{ — volume constant}$$

dans lesquelles ΔT est l'accroissement de température occasionnée par la cession d'une quantité de chaleur ΔQ

à un kilogramme de fluide. Suivant que ΔQ est donné sous pression constante, ou sous volume constant, la chaleur spécifique est C ou c .

L'étude de la chaleur spécifique des gaz montre que :

1° Pour chaque gaz, C chaleur spécifique sous pression constante, et c , chaleur spécifique sous volume constant, sont constants, lorsque la température ne dépasse pas 200° .

2° C est plus grand que c : lorsqu'un gaz s'échauffe sous pression constante, il se dilate, et le travail ainsi produit tend à le refroidir. Pour obtenir un même accroissement de température il faut donc dépenser plus de chaleur.

Regnault a donné pour C et c les valeurs suivantes

$$C = 0,2377$$

$$c = 0,1697$$

3° Pour tous les gaz le rapport $\frac{C}{c}$ a une valeur constante $\gamma = \frac{C}{c} = 1,41$.

(Clément et Desormes. Laplace).

Lorsque les gaz sont à très haute température, (moteurs à gaz), γ n'est plus égal à $1,41$.

A 1500° $c' = 0,34$ $C' = 0,41$ $\gamma' = 1,21$ (M. Marchis)

La chaleur spécifique de la vapeur d'eau surchauffée sous pression constante a été étudiée par Regnault et il a trouvé comme valeur moyenne :

$$C = 0,48$$

on trouva plus tard que la chaleur spécifique augmentait avec la température et qu'elle était de

$$0,30 \text{ à } 260^{\circ} \text{ centigrades}$$

$$0,93 \text{ à } 315^{\circ} \text{ centigrades.}$$

Vers 1900, Ewing et Grindley tirèrent de l'expérience cette conclusion que la chaleur spécifique sous pression constante est sensiblement indépendante de la pression, mais qu'elle augmente avec la température.

Carpenter, en opérant entre 10 et 120 kilogrammes par centimètre carré, a montré que les chaleurs spécifiques augmentent avec la pression.

Enfin, des expériences récentes exécutées par MM. Linde, Knoblauch et Klebe à l'École polytechnique de Zurich, semblent montrer que la chaleur spécifique sous pression constante de la vapeur d'eau surchauffée augmente avec la pression, mais que, pour une pression donnée, elle diminue avec la température de surchauffe.

On admet généralement pour la chaleur spécifique de la vapeur surchauffée, le chiffre donné par Regnault : $C = 0,48$.

Ce chiffre concorde sensiblement avec celui de Knoblauch pour une vapeur, à 4 kilogrammes, surchauffée de 200 à 350°.

Mais à la pression de 8 kilogrammes par centimètre carré et à la température de 250° il serait de 0,537 et à 350° de 0,51.

D'après Bach, la chaleur spécifique moyenne sous pression constante de la vapeur fortement surchauffée serait constante et égale à 0,6.

Nous admettrons dans la suite le chiffre de Regnault comme étant suffisamment exact pour l'évaluation des quantités de chaleur mises en jeu par la surchauffe dans les phénomènes dont les chaudières sont le siège.

CHAPITRE III

ÉVOLUTION DE LA VAPEUR SOUS L'ACTION DE LA CHALEUR

10. Transformations isothermiques et adiabatiques des vapeurs. — La connaissance des propriétés des gaz et des vapeurs saturées et surchauffées, et de leur équation typique, permet de déterminer toutes les particularités de l'évolution de ces fluides sous l'action de la chaleur et, en particulier, de calculer le travail produit ou absorbé dans leurs diverses transformations.

Soit, en effet, $t = f(p.v)$ l'équation typique d'un fluide. Cette équation représente une surface, dont un point p_1, v_1, t_1 représente un état de ce fluide; une ligne de cette surface représente un cycle. Elle peut être définie par sa projection $t_1 = f(p.v)$ sur un plan pv et sa cote t_1 par rapport à ce plan.

Lorsqu'un corps subit une transformation, le point représentatif décrit une trajectoire déterminée par sa projection M_1M_2 (fig. 5) sur le plan pv et la cote t de ses divers points. L'aire $M_1m_1m_2M_2$, ayant pour expression $\int_{v_1}^{v_2} p dv$, mesure le travail externe accompli pendant la transformation; la chaleur $A \int_{v_1}^{v_2} p dv$ lui correspond.

De toutes les transformations que peut subir l'état d'un

corps sous l'action de la chaleur, deux sont particulièrement intéressantes parce que ce sont celles que l'on envisage le plus fréquemment dans les machines thermiques.

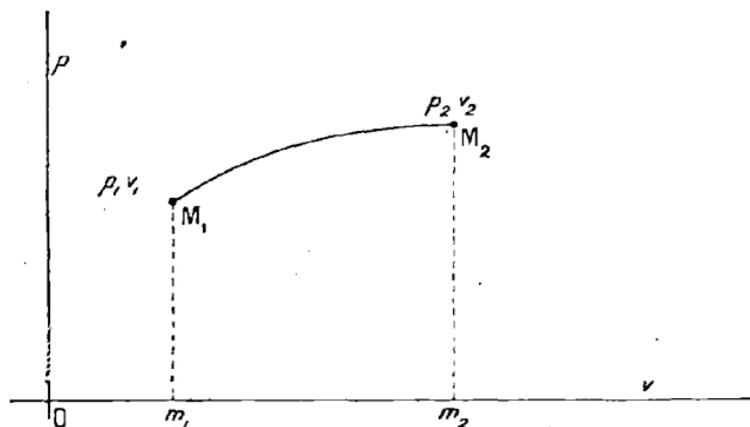


Fig. 5. — Cycle de transformation.

Ce sont : la *transformation isothermique*, dans laquelle la température t est constante; la *transformation adiabatique*, pour laquelle $dQ = 0$.

La *transformation isothermique* (compression ou détente) est celle dans laquelle les variations de volume et de pression n'entraînent pas de variation de la température : t constant. Il faudra nécessairement mettre en jeu une certaine quantité de chaleur pour produire ces variations de volume et de pression. A cette chaleur correspondra un travail mécanique positif ou négatif produit par le fluide.

Le lieu de p et v pour $t = t_1$ est une courbe de niveau de la surface représentée par l'équation typique $f(pvt) = 0$ obtenue en faisant $t = t_1$.

Les isothermes des gaz sont des courbes représentées par $pv = RT_1 = \text{constante}$ (fig. 6). Ce sont des hyperboles équilatères ayant les axes op et ov comme asymptotes.

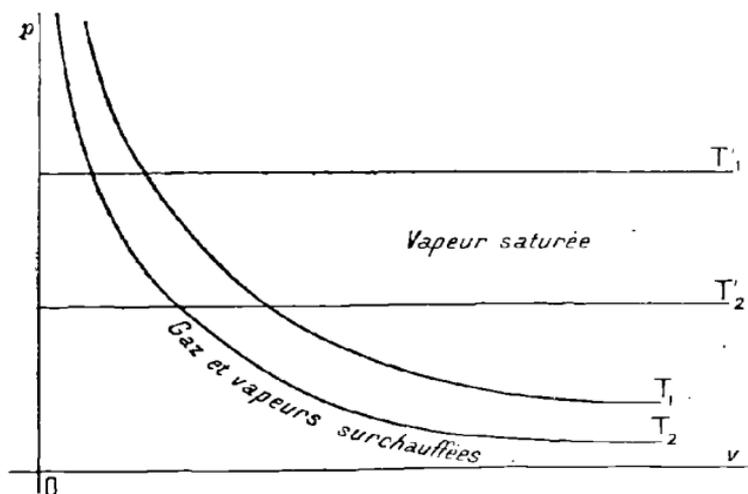


Fig. 6. — Transformations isothermiques.

Les isothermes d'une vapeur saturée, sont des droites parallèles à ov .

Les isothermes d'une vapeur surchauffée, sont des courbes représentées par $pv^{1,065} = \text{constante}$.

La transformation *adiabatique* (compression ou détente), est celle dans laquelle le fluide ne reçoit ni ne cède aucune chaleur pendant la transformation; dans ce cas on a $dQ = 0$.

La variation du volume entraîne une variation de la pression et de la température, variations qui entraînent elles-mêmes une augmentation du titre d'une vapeur,

dans le cas d'une compression adiabatique, et une diminution dans le cas d'une détente.

Pour déterminer la loi de variation de p et v lorsque $dQ = 0$, c'est-à-dire pour avoir l'équation des *adiabatiques*, il est nécessaire d'avoir une relation générale entre dQ, p, v, T .

Cette relation s'obtient en évaluant la quantité de chaleur mise en jeu dans une transformation élémentaire, dp, dv, dT lorsque les éléments p, v, T sont reliés entre eux par l'équation typique.

Cette étude faite dans le cas des gaz parfaits donne les résultats suivants :

$$(1) \quad dQ = \frac{C}{R} p dv + \frac{c}{R} v dp$$

$$(2) \quad dQ = c dT + \frac{C - c}{R} p dv$$

$$(3) \quad dQ = C dT - \frac{C - c}{R} v dp$$

Dans le cas d'une transformation adiabatique $dQ = 0$.
L'équation (1) donne

$$C \frac{dv}{v} + c \frac{dp}{p} = 0 \quad pv^{\frac{C}{c}} = \text{constante} \quad \frac{p_0}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^{\frac{C}{c}}$$

C'est l'équation de la courbe de transformation adiabatique (Equation de Laplace).

En tenant compte de l'équation typique $p v = RT$, l'équation de Laplace peut s'écrire :

$$\begin{aligned} T v^{\gamma-1} &= \text{constante} & \frac{T_1}{T_0} &= \left(\frac{v_0}{v_1} \right)^{\gamma-1} \\ T p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} &= \text{constante} & \frac{T_1}{T_0} &= \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \end{aligned}$$

Pour la vapeur d'eau surchauffée ou pour les gaz parfaits :

$$\gamma = \frac{C}{c} = 1,41 \quad . \quad \frac{\gamma - 1}{\gamma} = 0,2908.$$

Une vapeur saturée sèche suit les mêmes lois qu'un gaz parfait, mais une vapeur sèche au début d'une transformation, allant d'une température t_1 à la température $t_2 < t_1$, devient humide. Pour une telle vapeur, on a :

$$\gamma = \frac{C}{c} < 1,41 \quad . \quad \frac{C}{c} = 1,135.$$

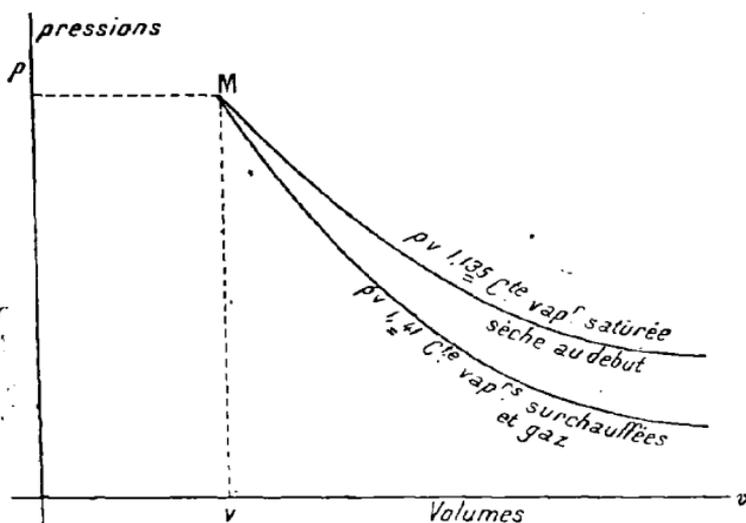


Fig. 7. — Transformations adiabatiques.

Le diagramme de la figure 7 représente ces transformations.

11. Travail correspondant à une transformation.

1° *Transformation isothermique d'un gaz.* — On a $T = T_1 = \text{constante}$, d'où :

$$dT = 0 \quad pv = p_1 v_1 = RT.$$

L'équation (2)

$$dQ = cdT + \frac{C - c}{R} pdv$$

devient :

$$dQ = \frac{C - c}{R} pdv.$$

Pour un gaz $dT = 0$ on a $dU = 0$ et l'équation : $dQ = dU + A pdv$, devient $dQ = A pdv$, d'où :

$$A = \frac{C - c}{R}.$$

L'expression du travail produit est :

$$\bar{e} = \int_{v_1}^{v_2} pdv = p_1 v_1 L \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 L \frac{p_1}{p_2} = RT_1 L \left(\frac{p_1}{p_2} \right).$$

Le travail d'une transformation isothermique est proportionnel à la température absolue et au logarithme du rapport des pressions extrêmes.

2° *Travail correspondant à la transformation adiabatique d'un gaz.* — L'expression du travail est $\bar{e} = \int_{t_1}^{t_2} pdv$

$$dQ = cdt + \frac{C - c}{R} pdv = 0$$

devient

$$0 = cdt + \frac{C - c}{R} pdv.$$

On a aussi : $dQ = dU + A p dv = 0$; d'où : $A = \frac{C - c}{R}$

$$\tau = - \frac{C}{A} \int_{t_1}^{t_2} dt = \frac{C}{A} (t_1 - t_2).$$

Le travail correspondant à une transformation adiabatique est proportionnel à l'abaissement de température. Il n'affecte, par suite, que l'énergie interne du corps.

APPLICATION. — *Application au briquet à air. Transformation adiabatique.*

Un volume v_0 d'un gaz parfait, sous la pression atmosphérique, et à 0° , est comprimé brusquement jusqu'à ce que son volume devienne $v_1 = \frac{v_0}{10}$.

Température t_1 du gaz après la compression ?

$$\frac{v_0^{\gamma-1}}{T_1} = \frac{v_1^{\gamma-1}}{T_0} \quad T_1 = T_0 \left(\frac{v_0}{v_1} \right)^{\gamma-1} = 273 \times 10^{0,41} = 685^\circ$$

$$t_1 = 685 - 273 = 412^\circ \text{ centigrades}$$

Chaleur interne de 1 kilogramme du gaz avant la compression :

$$cT_0 = 273 \times 0,1697 \text{ calories.}$$

Chaleur interne de 1 kilogramme du gaz après la compression :

$$cT_1 = 685 \times 0,1697 \text{ calories.}$$

Chaleur produite par le travail de compression :

$$0,1697 \times 412 \text{ calories.}$$

Travail à fournir pour la compression :

$$0,1697 \times 412 \times 425 \text{ kilogrammètres.}$$

APPLICATION. — *Détente adiabatique d'un gaz comprimé.*

Un gaz est comprimé à $p_0 = 100$ atmosphères dans un cylindre refroidi à la température de 0° . On le détend brusquement à la pression atmosphérique. Température à la fin de la détente ?

$$\text{La relation } \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_1}{T_0}$$

donne pour $p_1 = 1$ $p_0 = 100$ et $T_0 = 273^\circ$

$$T_1 = 273 \times 100^{-0,29}$$

$$t_1 = 73 - 373^\circ = -200^\circ.$$

Travail fourni par la détente de 1 kilogramme de gaz, même raisonnement que ci-dessus :

$$0,1697 \times 200 \times 425 \text{ kilogrammètres.}$$

12. Cycles réversibles. Cycle de Carnot. — Un cycle est réversible, lorsqu'un corps l'ayant parcouru dans un sens on peut le faire revenir au même état initial par des transformations inverses.

Pour qu'un cycle soit réversible, il faut et il suffit qu'il n'y ait jamais de différence finie entre la température et la pression du corps évoluant et celles du milieu ambiant agissant comme source de chaleur.

En effet, si le corps, pendant qu'il communique avec la source chaude de température T_1 , prenait une température $T_1 - \theta$ inférieure d'une quantité finie θ à celle T_1 de cette source, on ne pourrait concevoir la transformation inverse, puisque le corps ne pourrait plus restituer sa chaleur à $T_1 - \theta$ à la source à température T_1 , en vertu du postulatum expérimental de Clausius :

Postulatum de Clausius. — La chaleur ne peut passer d'elle-même, c'est à-dire sans travail, d'un corps sur un corps plus chaud que lui.

On peut étendre ce raisonnement à l'échange qui s'opère avec la source froide, et aussi aux pressions du fluide par rapport au milieu ambiant.

Si donc l'on ne dispose que de sources de chaleur à température constante, les cycles réversibles seront décrits en mettant le corps en communication avec ces sources (il décrira des isothermes en opérant des dilatations ou des contractions, détentes ou compressions isothermiques) puis, en supprimant toute communication avec ces sources (il décrira alors des adiabatiques, détentes ou compressions adiabatiques).

Si l'on avait voulu obtenir la réversibilité suivant une ligne quelconque, il eût fallu disposer d'une infinité de sources de chaleur.

Le cycle de Carnot comprend deux isothermes et deux adiabatiques; il est réversible (fig. 8 et 9).

M_1M_2 , le fluide se détend isothermiquement à la température T_1 . La source chaude lui cède Q_1 à T_1 . Il se produit un travail moteur $m_1M_1M_2m_2$ pour lequel le fluide cède sa chaleur externe.

M_2M_3 , le fluide se détend adiabatiquement. La source à température T_1 ne fournit aucune chaleur. Le fluide se refroidit et passe de la température T_1 à la température inférieure T_2 en cédant une partie de sa chaleur interne. Il y a production de travail moteur $m_2M_2M_3m_3$.

M_3M_4 , le fluide subit une compression isothermique à la température T de la source froide, il cède Q_2 à T_2 . Il y a production de travail résistant $m_3M_3M_4m_4$, par lequel le fluide récupère de la chaleur externe.

M_4M_1 , le fluide subit une compression adiabatique ; il ne donne plus de chaleur à la source froide, il est réchauffé par une dépense de travail mécanique $M_4m_4m_1M_1$ (briquet à air) et sa température passe de T_2 à T_1 en récupérant la chaleur interne qu'il avait perdue de M_2 à M_3 .

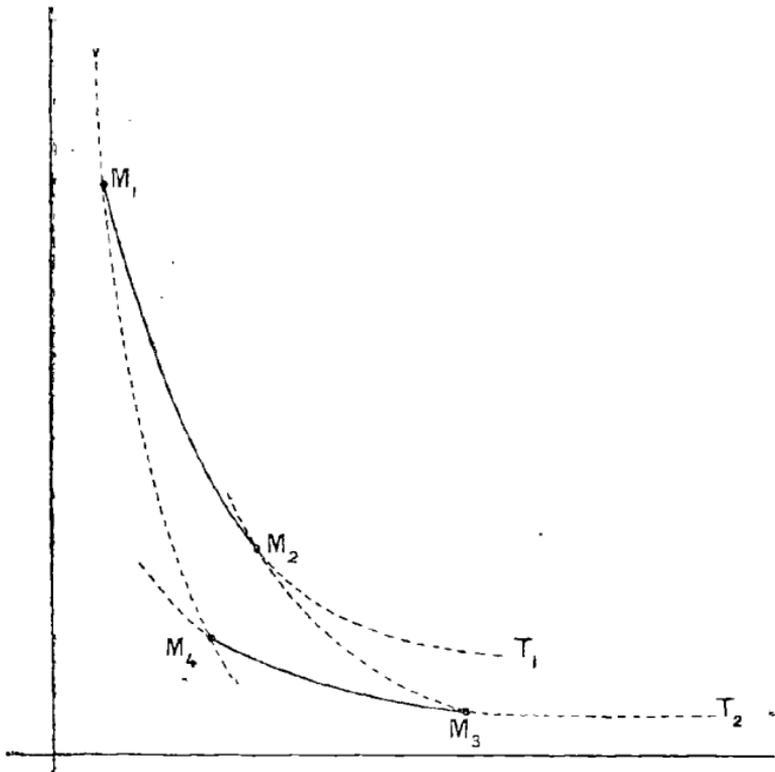


Fig. 8. — Cycle de Carnot. Gaz et vapeurs surchauffées.

En définitive, le fluide a utilisé une quantité de chaleur $Q_1 - Q_2$ entre les températures T_1 et T_2 , et la source chaude a fourni Q_1 .

C'est une cession de chaleur à température constante, une combustion isothermique dans les moteurs à gaz. Elle est généralement très difficile à réaliser dans ces moteurs et on lui substitue une combustion sous pression constante.

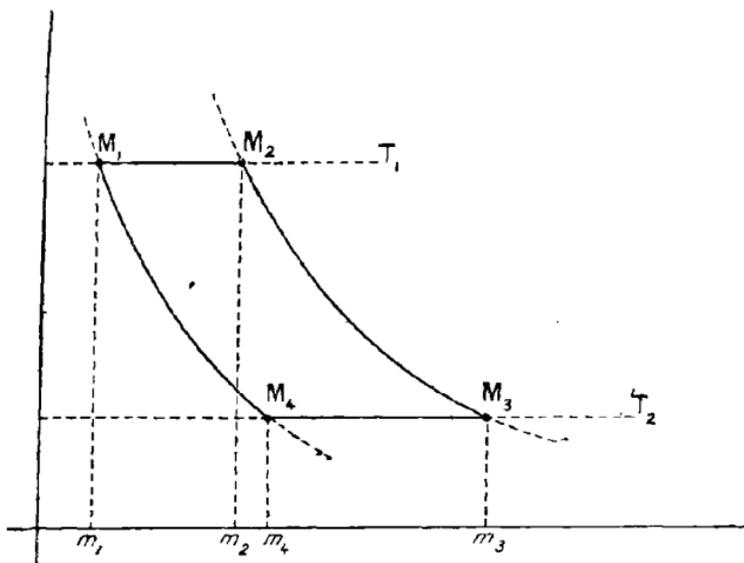


Fig. 9. — Cycle de Carnot. Vapeurs saturées.

Principe de Carnot. — Le principe de Carnot indique que, dans un cycle réversible, le rapport de la quantité de chaleur $Q_1 - Q_2$ transformée en travail à la quantité de chaleur Q_1 fournie par la source chaude,

1° est indépendant du corps évoluant,

2° ne dépend que des températures T_1 et T_2 , et on a :

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Ce principe peut être rapproché de celui qui régit le

travail de la pesanteur : Le travail dû à la pesanteur est indépendant de la nature du corps pesant et de la trajectoire suivie.

Le travail théorique de la chaleur est indépendant du corps véhicule de la chaleur et des circonstances de l'évolution.

Du reste, si $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ n'était pas constant et le même pour tous les corps, il serait possible de faire passer, sans dépense de travail, de la chaleur d'un corps sur un autre de température plus élevée ce qui est impossible d'après le Postulatum de Clausius.

Rendement du cycle de Carnot. — Le rapport

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \rho$$

est appelé rendement du cycle de Carnot, car c'est le rapport de la quantité de chaleur utilisée par le corps suivant le cycle à la quantité de chaleur totale fournie par la source chaude pour le lui faire décrire.

Sous cette forme, on voit qu'il augmente avec la différence $T_1 - T_2$. Il peut s'écrire $1 - \frac{T_2}{T_1}$. Il augmente lorsque T_2 diminue. Il est maximum et égal à 1 pour $T_2 = 0$. C'est un cas limite qui ne peut jamais être atteint pas plus qu'il n'est possible, pratiquement, d'utiliser une chute d'eau dont le niveau d'aval serait au centre de la terre.

En pratique, la différence $T_1 - T_2$ est relativement faible.

T_1 ne dépasse pas $200 + 273 = 473^\circ$ et $400 + 273 = 673^\circ$ (surchauffe). Quant à T_2 , elle ne descend pas au-dessous de $30 + 273 = 303^\circ$.

Le cycle de Carnot est impossible à réaliser pratiquement dans les machines thermiques.

En effet, si on peut imaginer, à la rigueur, des sources de chaleur infinies par rapport aux dimensions des machines, (nécessaires aux transformations isothermiques) on ne peut avoir des fluides ayant une conductibilité assez parfaite pour que ces transformations soient pratiquement réalisables.

Cette conductibilité, si elle existait, serait un obstacle à la production des transformations adiabatiques qui exigent, au contraire, un fluide évoluant dénué de conductibilité.

En étudiant le diagramme d'une machine à vapeur on voit que la compression adiabatique du cycle de Carnot serait très difficile à réaliser pratiquement.

Enfin, les conditions nécessaires à la réalisation d'une transformation réversible ne sont pas toujours remplies.

Par exemple, l'opération que l'on produit dans le briquet à air n'est pas réversible, car la masse du piston n'étant pas négligeable, la pression qu'il exerce sous l'influence de la poussée qu'il reçoit est supérieure à la pression que le gaz lui oppose, de telle sorte que l'opération ne pourrait pas être accomplie en sens inverse sous l'influence des mêmes pressions.

Remarque. — Le principe de l'équivalence est applicable à toutes les opérations.

Le principe de Carnot n'est applicable qu'aux opérations réversibles s'effectuant à des températures relativement basses telles que celles que possède la vapeur d'eau dans son évolution dans les machines à vapeur.

De tous les cycles que peut décrire un corps, c'est le cycle de Carnot qui a le rendement maximum.

13. **Diagramme entropique de la vapeur d'eau.** — Lorsqu'un corps change d'état physique sous l'action de la chaleur ou après avoir produit un travail positif ou négatif la série des états qu'il prend dans son évolution est fournie par le diagramme pressions, volumes.

Mais ce diagramme ne donne, du moins directement, aucun renseignement sur l'état calorifique qui correspond à chacun des états physiques qu'il définit, parce qu'il ne fait pas connaître explicitement la quantité de chaleur qui correspond à son énergie interne.

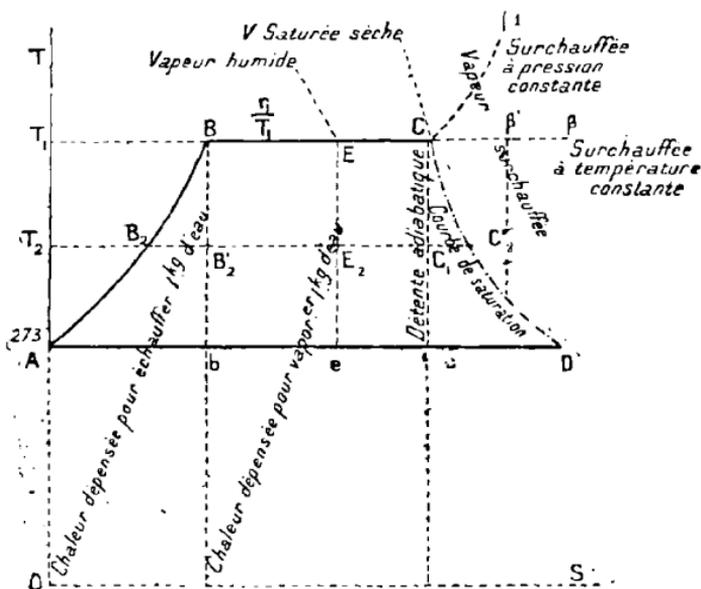


Fig. 10. — Diagramme entropique de la vapeur d'eau.

Ces états calorifiques pourraient être déduits du diagramme p, v , par la considération des isothermes et des équations fournissant dQ déduites du principe de

l'équivalence, mais on préfère définir ces états calorifiques d'un corps passant, d'un état à un autre par une transformation réversible, au moyen des éléments Q et T , c'est-à-dire de la quantité de chaleur qu'il contient, et de la qualité de cette chaleur.

Mais dQ n'est pas une différentielle exacte, et il ne peut en être autrement, car alors la grandeur Q ne dépendrait pour une transformation entre deux états que des états extrêmes et non des états intermédiaires. Dans le cas d'une transformation suivant un cycle fermé, Q serait nulle; on pourrait donc produire un travail, celui qui est représenté par l'aire du cycle décrit, sans dépenser de chaleur, ce qui est en contradiction avec le principe de l'équivalence.

Par contre, pour une transformation réversible, $\frac{dQ}{T}$ est une différentielle exacte d'une fonction S de p , v , t , qui a une valeur déterminée pour chacun des états du corps et on a $dS = \frac{dQ}{T}$.

Clausius a donné à la fonction $S = \int \frac{dQ}{T}$ le nom d'*entropie*, parce qu'elle « mesure en quelque sorte l'évolution d'un corps et donne tout au moins le sens de « cette évolution¹ ».

L'état d'une masse fluide déterminée, 1 kilogramme par exemple, peut donc, grâce à la considération de l'entropie, être définie au point de vue calorifique.

Cet état est caractérisé au point de vue physique et au point de vue calorifique par les éléments p et S . Le diagramme TS appelé *diagramme entropique*, le caractérise

¹ LUCIEA POINCARÉ.

au point de vue calorifique ; le diagramme pv le définit au point de vue physique.

Lorsque ces deux diagrammes sont tracés, l'un donne une mesure du travail exécuté dans une transformation, l'autre fournit la quantité de chaleur qui lui correspond.

Le tracé du diagramme entropique exige que l'on puisse définir et mesurer la différence d'entropie entre deux états du corps considéré. Cette grandeur dépend de l'état choisi arbitrairement pour définir le zéro d'entropie.

L'entropie de l'eau à zéro degré centigrade a, par définition, la valeur zéro.

Pour tracer le diagramme entropique de 1 kilogramme d'eau on part de l'état initial d'entropie ainsi définie, et on calcule la valeur de l'entropie pour un autre état en imaginant entre eux une transformation réversible telle que la variation d'entropie qui lui correspond se détermine aisément ⁴.

Par exemple, on amènera le corps du 1^{er} au 2^e état au moyen d'une transformation adiabatique ou d'une transformation isothermique.

Dans le premier cas, transformation adiabatique, on a $dQ = 0$, la variation d'entropie est $d \int \frac{dQ}{T} = 0$.

Dans le second cas, transformation isothermique, $T = \text{constante} = T_1$. Soit Q_1 la quantité de chaleur reçue par le corps à la température T_1 , la variation d'entropie est $\frac{Q_1}{T_1}$.

⁴ Les valeurs de l'entropie de 1 kilogramme d'eau entre 0° et 230° centigrades ou entre les pressions absolues de 0 à 28kg,5 par centimètre carré, ont été calculées et introduites dans les tables de la vapeur d'eau saturée.

La première transformation est représentée par une droite parallèle à OT, la transformation isothermique par une parallèle à OS.

L'aire comprise entre une ligne telle que AB d'un diagramme entropique et l'axe des entropies représente la quantité de chaleur mise en jeu dans la transformation réversible à laquelle cette ligne correspond.

14. Diagramme relatif à la vaporisation de 1 kilogramme d'eau et à la détente de la vapeur correspondante. Poids d'eau déposée, dans une détente adiabatique. — Le point A (fig. 10) correspond à l'état du fluide à 0° centigrade, AB correspond à l'échauffement du liquide on a :

$$dQ = l dt$$

et :

$$S = l \int_A^B \frac{dt}{T}$$

Comme $S_A = 0$ par définition on a :

$$S_B = lL \frac{T_1}{273}$$

et comme l , chaleur spécifique de l'eau est sensiblement égal à l'unité,

$$S_B = L \frac{T_1}{273}$$

En B, la vaporisation commence.

L'accroissement d'entropie correspondant à la vaporisation de 1 kilog d'eau à la température, T_1 est $\frac{r_1}{T_1}$ d'où :

$$BC = \frac{r_1}{T_1}$$

r_1 étant la chaleur latente de vaporisation à la température T_1 .

Si au lieu d'opérer à T_1 , on avait vaporisé l'eau à $T_2 < T_1$, on aurait eu :

$$B_2C_2 = \frac{r_2}{T_2}$$

Le lieu des points C_1, C_2 , etc., formant la courbe CD, est appelé « *Courbe de saturation* ».

Elle correspond à la détente qui maintient la vapeur à un titre égal à l'unité.

Si, au lieu de vaporiser 1 kilog d'eau à T_1 , on n'en avait vaporisé que la fraction x_1 , x_1 aurait été le titre de la vapeur et l'on aurait eu comme point représentatif de l'opération le point E défini par $\frac{BE}{BC} = x_1$.

La proportion d'eau contenue dans le mélange aurait été $\frac{EC}{BC}$.

Une détente adiabatique de 1 kilogramme de fluide est représentée par Cc.

Une détente adiabatique d'un poids égal à $x_1 \times 1$ kilogramme est représentée par Ee.

Ceci posé, il est facile de déterminer le poids d'eau contenu à chaque température dans 1 kilogramme de fluide.

Le poids d'eau déposée à la température T_2 dans une détente adiabatique d'un kilogramme de vapeur saturée sèche à T_1 est $\frac{C_1C_2}{B_2C_2}$.

Si la vapeur avait été humide à la température T_1 et que son état fut représenté par le point E, son titre eût été K, et le poids d'eau contenu dans la vapeur

à T_2 eût été $\frac{E_2C_2}{B_2C_2}$. Ce rapport est appelé degré ou pourcentage d'humidité.

Les surchauffes à température constante et à pression constante seraient représentées par des points tels que β et β' .

Le diagramme montre qu'une surchauffe telle que β' laisserait encore subsister du liquide dans une détente adiabatique poussée jusqu'à la température de 0° centigrade.

Application. — 1 kilogramme de vapeur de titre 0,9 se détend adiabatiquement de la pression absolue de 15 kilogrammes par centimètre carré à la pression atmosphérique. Que deviendra le titre de cette vapeur ?

On trouve dans la table des vapeurs saturées :

$$\begin{array}{lll} \text{pour } P_1 = 15 \text{ kilogrammes} & T_1 = 470 & r_1 = 466,34 \\ \text{pour } P_2 = 1 \text{ kilogramme} & T_2 = 372 & r_2 = 537,15 \end{array}$$

On tire de là :

$$\frac{r_1}{T_1} = BC = 0,99 \quad \text{d'où } BE = 0,9 \times BC = 0,89$$

$$\frac{r_2}{T_2} = B_2C_2 = 1,45.$$

Le titre à la température T_2 et à la pression P_2 est :

$$\frac{B_2E_2}{B_2C_2} = \frac{B_2E_2}{1,45} = \frac{BE + B_2B_2'}{1,45} = \frac{0,89 + lL_c \frac{T_1}{T_2}}{1,45}$$

on a donc :

$$\text{Titre cherché} = \frac{1,12}{1,45} = 0,725.$$

15. Evolution de la chaleur dans une chaudière une machine thermique et un condenseur. — Quand on donne de la chaleur à un liquide, il se vaporise.

Quand on enlève de la chaleur à une vapeur saturée, elle se réduit en liquide. La chaleur totale λ mise en jeu, dans les deux cas, est la même, si le même poids de liquide est ramené à la même température qu'avant la vaporisation.

La chaleur totale λ comprend deux parties :

L'une, $q + \rho$, affectée aux modifications de l'énergie interne ;

L'autre, Apu' , aux productions de travail externe.

Lorsqu'un corps subit une transformation dans laquelle il y a production de travail externe, positif ou négatif, deux cas peuvent se présenter :

1° La transformation se fait sans échange de chaleur externe : *elle est adiabatique* ;

2° La transformation s'opère sans changement de température : *elle est isothermique*.

Dans le cas d'une transformation adiabatique, la production de travail externe est due uniquement à la chaleur interne. C'est elle qui fait tous les frais de la transformation.

a) Si le corps est un gaz parfait ou une vapeur surchauffée loin de son point de saturation : Il ne se produit qu'une modification de la température.

b) Si le corps est une vapeur saturée : Il y a non seulement une variation de la température, mais aussi une modification du titre de la vapeur.

. Dans le cas d'une transformation isothermique, l'évolution de la chaleur n'est pas la même suivant qu'il s'agit de gaz parfaits, et de vapeurs surchauffées ayant les mêmes propriétés qu'eux, ou de vapeurs seulement saturées.

a) *Lorsqu'il s'agit de gaz parfaits* ou de vapeurs surchauffées, la production de travail externe est due uniquement à la variation de l'énergie externe. La température étant constante, l'énergie interne ne varie pas. C'est donc la chaleur externe qui fait tous les frais de la transformation.

b) *Lorsque le corps évoluant est une vapeur saturée*, la chaleur externe est transformée en travail, mais la chaleur interne intervient aussi, en fait, dans la transformation, parceque celle-ci est toujours suivie d'une évolution adiabatique.

Dans un ensemble composé d'une chaudière, d'une machine thermique et d'un condenseur, l'évolution de la chaleur présente les caractères généraux suivants :

L'eau étant dans la chaudière, reçoit la chaleur q ; au moment où elle la quitte, en se transformant en vapeur saturée à la pression et à la température de la chaudière, elle reçoit la chaleur r de l'eau qui reste dans le générateur.

Le foyer donne les quantités de chaleur q et r à l'eau qui remplace celle qui a quitté la chaudière.

Lorsque la vapeur entre dans le cylindre, elle possède la quantité de chaleur $\lambda = q + r$. Cette chaleur comprend deux parties :

La chaleur interne $q + r$;

La chaleur externe Apu .

La vapeur pousse le piston ; elle produit un travail, elle perd donc une quantité de chaleur équivalente.

S'il ne se produisait pas de condensation dans le cylindre la chaleur transformée en travail pour pousser le piston serait Apu' ; la vapeur conserverait son titre.

Mais, en fait, la détente qui se produit dans le cylindre est une détente isothermique, et cette détente donne lieu à une réduction du titre si la vapeur est entrée (ainsi qu'on l'a supposé) à l'état de vapeur saturée sèche.

De plus, à la détente isothermique succède une détente adiabatique qui amène une diminution de la pression et de la température, et par suite une réduction de l'énergie interne. Une partie de ρ est donc transformée en travail.

La transformation de la chaleur λ en travail est loin d'être complète : la vapeur est mise en communication avec la source froide constituée par le condenseur avant qu'elle ait pu céder ρ entièrement.

La chaleur q , et ce qui reste de la chaleur ρ , c'est-à-dire la plus grande partie de celle-ci, passent dans le condenseur.

On en récupère une très faible partie, $\frac{1}{30}$ environ, lorsqu'on se sert de l'eau chaude provenant de la condensation pour alimenter la chaudière. Le reste de cette chaleur est perdu en pure perte dans l'eau qui sort du condenseur.

Cette chaleur perdue donne même lieu à une dépense supplémentaire de force motrice, c'est-à-dire de chaleur, lorsqu'on fait passer cette eau dans des réfrigérants pour la faire servir à de nouvelles condensations.

16. Détente adiabatique de la vapeur avec travail moteur ; sans travail moteur. — La détente adiabata-

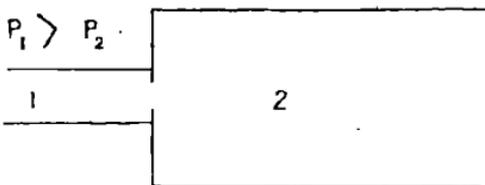
tique d'un fluide, c'est-à-dire le passage de ce fluide de la pression P_1 à la pression P_2 , avec $P_2 < P_1$ sans perte ni gain de chaleur, peut se faire de deux manières :

1° Comme dans une machine à vapeur en poussant un piston, lequel oppose toujours à l'expansion du fluide une résistance égale à la pression qu'il supporte; il y a, dans ce cas, production de travail moteur.

2° Comme dans un détendeur; la vapeur passe d'une enceinte ou d'une conduite à la pression P_1 dans une enceinte ou une conduite à la pression P_2 , $P_2 < P_1$; ou encore s'échappe dans l'atmosphère. Le fluide n'a à subir que le frottement du milieu dans lequel il se détend et le travail des pressions extérieures que ce milieu exerce sur lui. La vapeur ne rentre au repos (cas d'une enceinte) ou n'atteint la vitesse qui correspond à la section de la conduite P_2 qu'après avoir subi le travail de ces pressions extérieures.

1) La détente adiabatique avec travail moteur a déjà été examinée. Le fluide effectue un travail au détriment de son énergie interne; il se refroidit, son titre baisse.

2) Dans la détente sans travail moteur (fig. 11) on admet qu'il ne se produit aucun échange de chaleur dans l'orifice même, c'est-à-dire



$$Q_1 = Q_2$$

$$E_1 = E_2$$

Fig. 11. — Détente sans travail.

qu'elle est effectivement adiabatique :

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{et} \quad E_1 = E_2$$

Chaleur contenue dans l'unité de poids du fluide en 1 = même quantité en 2 énergie externe en 1 énergie externe en 2

Le volume augmente lorsque le fluide passe de P_1 à P_2 et celui-ci tend à prendre une certaine vitesse. Les frottements du milieu ambiant, et les pressions que ce milieu exerce sur lui, ont pour effet de le ramener au repos. Puisqu'il n'y a pas eu de travail externe produit, ces divers travaux ont eu pour résultat d'augmenter l'énergie interne du fluide détendu. C'est cette augmentation de l'énergie interne occasionnée par la détente qui entraîne la vaporisation du liquide que contient la vapeur si elle est humide, sa surchauffe, si elle est saturée sèche ou déjà surchauffée. Cette vaporisation absorbe de la chaleur interne. La vapeur se refroidit jusqu'à ce qu'elle prenne la température qui correspond à la pression P_2 .

Si donc on observe un jet de vapeur s'échappant dans l'atmosphère, on remarque 3 zones distinctes :

1° Près de l'orifice un cône gris de vapeur humide ; humidité produite par la détente et provenant du titre ;

2° Le jet s'épanouit et forme une zone transparente légèrement bleue, la vapeur est sèche. L'augmentation de l'énergie interne due au travail des pressions extérieures a servi à vaporiser l'humidité que contenait la vapeur ;

3° Le jet se refroidit et la vapeur prend l'état vésiculaire.

Conclusion. — Dans un détendeur, ou lorsque la vapeur passe d'une pression P_1 à une pression P_2 ($P_2 < P_1$) sans produire de travail et sans qu'il y ait échange de chaleur dans le passage, *le titre de la vapeur augmente.*

TITRE II

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR LES CHAUDIÈRES

17. **Considérations générales.** — La chaudière véritablement industrielle ne date guère que du commencement du siècle dernier.

Au début, elle donne de la vapeur à quelques kilogrammes de pression, et cette vapeur est utilisée dans une machine aussi rudimentaire que la chaudière qui l'alimente.

Plus tard, elle se perfectionne pour être employée aux premiers essais de traction à vapeur. Comme elle doit produire une quantité de vapeur relativement grande en peu de temps, *Marc Seguin* est conduit à imaginer la chaudière à tubes de fumée, dans laquelle la surface de chauffe est beaucoup plus grande, pour le même volume occupé, que dans la chaudière ordinaire.

Ce perfectionnement, qui avait eu pour résultat d'augmenter la puissance de vaporisation, ne s'appliquait guère qu'aux locomotives et l'industrie n'employait que très peu la chaudière tubulaire, conservant toujours la chaudière à bouilleurs, dite *chaudière française*.

En ce qui concerne les pressions réalisées, elles sont relativement peu élevées, on est arrêté par la résistance des tôles dont on dispose dans la construction, et on ne dépasse pas 4 à 5 kilogrammes par centimètre carré dans les chaudières industrielles, 8 à 10 dans les locomotives.

Depuis une trentaine d'années, les chaudières ont été l'objet de perfectionnements nombreux et importants nécessités par le besoin de produire une grande quantité de vapeur en un temps donné, et au moyen d'appareils aussi peu encombrants que possible.

On est arrivé ainsi à créer des chaudières à grandes surfaces de chauffe — surfaces qui sont données soit par des *tubes de fumée* analogues à ceux de la chaudière locomotive, soit par des *tubes d'eau* placés sur le trajet des flammes du foyer. On a été conduit, dans le même but, à favoriser l'échange de chaleur entre le foyer et l'eau de la chaudière par la *circulation*.

Ces chaudières comprennent un très grand nombre de types qui ne diffèrent les uns des autres que par des détails d'organisation et par la manière dont la circulation y est réalisée.

Elles sont toutes caractérisées par une grande puissance de vaporisation par mètre carré de surface de chauffe, et aussi, par la propriété d'être mises en pression très rapidement.

Certaines d'entre elles, les *chaudières à vaporisation instantanée*, ont même cette dernière propriété poussée jusqu'à ses limites extrêmes pour les applications à la marine de guerre et à la traction.

Les pressions auxquelles les chaudières peuvent résis-

ter suivent aussi une progression croissante au fur et à mesure que l'industrie produit des métaux plus parfaits et que la construction mécanique se perfectionne.

Les chaudières fixes produisent maintenant de la vapeur à haute pression, 12 à 15 kilogrammes par centimètre carré. Cette vapeur est généralement détendue avant d'être employée dans les machines.

Dans les locomotives, les cylindres à vapeur reçoivent directement la vapeur à haute pression (15 à 16 kilogrammes par centimètre carré) produite par la chaudière.

Dans les chaudières marines, la pression atteint 20 kilogrammes par centimètre carré.

Ces hautes pressions, dont l'emploi est avantageux dans les machines à pistons, conviennent moins pour l'alimentation des turbines. Pour ces dernières machines, dont l'usage se répand de plus en plus, l'emploi des vapeurs à basses pressions, telle que celles qui sortent des machines à piston, présente un grand intérêt. L'*accumulateur régénérateur de vapeur* de M. Rateau produit ces vapeurs à basses pressions, en utilisant la vapeur de certaines machines à piston à marche intermittente.

Depuis quelques années, l'attention des savants et des ingénieurs se porte sur l'intérêt que présente l'utilisation de la vapeur surchauffée dans les machines à pistons et dans les turbines.

La production de cette vapeur a entraîné l'étude de l'organisation et de l'installation des *surchauffeurs*.

Les perfectionnements ne se sont pas limités à la chaudière proprement dite ; ils se sont étendus à tout ce qui regarde la production de la vapeur et à la bonne utiliza-

tion du combustible. La combustion a été améliorée ; on est arrivé à utiliser toutes les qualités de charbon dans de bonnes conditions, et à obtenir une fumivorté presque parfaite des foyers.

Enfin, la récupération des calories que l'on perdait autrefois dans la cheminée et dans la vapeur d'échappement est faite maintenant d'une façon presque systématique, et c'est dans ce but que l'on emploie les *économiseurs* et les *réchauffeurs d'eau d'alimentation*.

CARACTÉRISTIQUES D'UNE CHAUDIÈRE

18. **Rendement thermique.** — On peut caractériser une chaudière par la manière plus ou moins parfaite dont elle utilise la chaleur qu'elle reçoit, et définir son *rendement thermique* par le rapport entre la quantité de chaleur contenue dans la vapeur qu'elle fournit et la quantité de chaleur correspondante qu'elle reçoit du combustible qu'elle consomme.

Ainsi, par exemple, une chaudière produisant 8 kilogrammes de vapeur saturée sèche, par kilogramme de charbon, aura pour rendement thermique le rapport :

$$\rho = \frac{8 \times 658 \text{ calories}}{8080 \text{ calories}} = 0,65$$

Le pouvoir calorifique¹ étant de 8080 calories et la pression de 7 kg. : cm², car 1 kilogramme de vapeur saturée sèche à cette pression contient 658 calories.

Mais la considération du rendement thermique conduit

¹ Le pouvoir calorifique d'un charbon est le nombre de calories que contient un kilogramme de ce charbon.

à la détermination d'éléments, tels que le pouvoir calorifique des combustibles, qui ne peuvent être donnés que par des mesures calorimétriques difficiles à faire en dehors d'un laboratoire.

Aussi, dans la pratique, on se contente souvent d'apprécier une chaudière au point de vue thermique en déterminant le nombre de kilogrammes de vapeur saturée sèche produits par kilogramme de charbon pur¹, défini par sa qualité et sa provenance.

19. Coefficient de vaporisation. — Ce nombre est appelé *coefficient de vaporisation*. Ainsi, par exemple, si 1 kilogramme de charbon pur, c'est-à-dire défalcation faite des cendres et de l'humidité qu'il contient, produit 7 kilogrammes de vapeur saturée sèche dans une chaudière déterminée, cette chaudière aura un coefficient de vaporisation de 7, et on dira que dans cette chaudière « 1 kilogramme de charbon produit 7 kilogrammes de vapeur », il est sous-entendu que la vapeur est saturée et sèche et qu'il s'agit d'un charbon pur. Il conviendrait aussi de spécifier la qualité et la provenance du combustible employé.

Quelquefois on désigne simplement par coefficient de vaporisation le poids de vapeur, telle que la chaudière la produit, fourni par 1 kilogramme de charbon brut.

20. Puissance de vaporisation. — C'est le nombre de kilogrammes de vapeur saturée sèche que la chaudière peut fournir à l'heure.

La puissance de vaporisation caractérise donc la puissance totale de la chaudière.

¹ Dans la pratique on appelle poids de « charbon pur » le poids brut de charbon employé, défalcation faite des cendres et de l'eau qu'il contient.

Elle ne dépend que très peu de la température et, par suite, de la pression de la vapeur produite ¹ ; aussi, néglige-t-on le plus souvent de spécifier la pression de la vapeur lorsqu'on parle de la puissance de vaporisation d'une chaudière, et dit-on : « une chaudière de tant de kilogrammes à l'heure », et même parfois seulement « une chaudière de tant de kilogrammes de vapeur ».

21. Puissance de vaporisation spécifique. — Le nombre de calories cédées à l'eau a une grande influence sur la puissance de vaporisation d'une chaudière. Comme il dépend de la surface offerte à l'action des flammes et des gaz chauds du foyer, ou surfaces de chauffe, les propriétés d'une chaudière au point de vue de sa vaporisation sont mieux caractérisées par la *puissance de vaporisation spécifique* ou rapport de la puissance de vaporisation, telle qu'elle a été définie, à la surface totale de chauffe, que par la puissance de vaporisation, qui ne vise que la quantité totale de vapeur que peut fournir une chaudière.

On dit : une chaudière « vaporise tant de kilogrammes par mètre carré », on sous-entend « à l'heure » et par surfaces de chauffe on sous-entend les *surfaces directes*, c'est-à-dire celles qui sont directement exposées à l'action des flammes du foyer, et aussi les *surfaces indirectes de chauffe* qui sont seulement léchées par les gaz chauds.

La considération de la puissance de vaporisation spécifique permet de différencier les divers types de chaudières en ce qui concerne leur vaporisation, et de mettre

¹ Pour transformer 1 kilogramme d'eau à 0° centigrade en 1 kilogramme de vapeur saturée sèche, à la température t , il faut fournir $606,5 + 0,305 t$ calories ; le terme $0,305 t$ qui dépend de la température est très faible en comparaison du terme $606,5$ calories.

en évidence leurs propriétés particulières à ce point de vue.

Ainsi, les chaudières de types anciens vaporisaient de 12 à 15 kilogrammes par mètre carré, tandis que les nouvelles, dans lesquelles la circulation favorise l'échange de chaleur entre les surfaces de chauffe et l'eau de la chaudière, vaporisent de 30 à 50 kilogrammes par mètre carré.

Les puissances de vaporisation sont très variables, suivant qu'il s'agit de surfaces directes de chauffe, appelées aussi surfaces de coup de feu, ou de surfaces indirectes; la considération des *puissances spécifiques* met cette propriété en évidence. On dira, par exemple : « les tôles de coup de feu vaporisent de 100 à 140 kilogrammes par mètre carré », « les surfaces indirectes vaporisent 25, 15, 10 kilogrammes par mètre carré ».

Des expériences méthodiques, faites par M. Graham sur quatre chaudières, disposées bout à bout, et parcourues successivement par les gaz chauds d'un foyer, ont montré, en effet, que si la vaporation spécifique de la première est représentée par 100, celle de la deuxième est 27, celle de la troisième est 13 et celle de la quatrième est 8.

La puissance de vaporisation spécifique dépend de la manière dont se fait l'échange de chaleur entre les surfaces de chauffe et l'eau, c'est-à-dire de la *circulation*, elle dépend aussi de l'échange de chaleur entre le foyer et les tôles, et par suite, de la vitesse des gaz qui lèchent les surfaces de chauffe, c'est-à-dire du *tirage*. Elle sera plus grande en tirage forcé qu'en tirage naturel.

Ainsi, par exemple, les surfaces directes qui vaporisent, aux allures modérées de 100 à 140 kilogrammes par mètre carré, donnent aux allures vives de 200 à 240 kilogrammes par mètre carré.

Les puissances de vaporisation totale et spécifique dé-

pendent donc de l'allure de la chaudière ou de *l'activité de la combustion*.

22. Activité de la combustion. — La quantité de charbon brûlé en une heure dans le foyer dépend elle-même du tirage.

On est donc amené, tout d'abord, à définir *l'activité de la combustion* de la manière suivante :

C'est le poids de combustible brûlé en une heure, et comme ce poids ne caractérise pas bien l'activité réelle de la combustion, on envisage *l'activité spécifique*, c'est-à-dire le *poids de combustible brûlé en une heure par mètre carré de surface de grille*. Comme cet élément caractéristique d'un foyer dépend du tirage, on spécifie dans chaque cas le tirage auquel il correspond.

On spécifiera une combustion de la manière suivante :
« La combustion est de tant de kilogrammes par mètre carré de surface de grille, le tirage étant de tant de millimètres d'eau. »

Lorsqu'on ne spécifie pas de quel combustible il s'agit, on sous-entend que le charbon est pur, c'est-à-dire qu'il est fait défalcation des cendres et de l'humidité qu'il contient.

Dans le cas contraire, on spécifiera la nature et la qualité du charbon par sa provenance, sa proportion de cendres et d'humidité.

Par une allure lente, l'activité de la combustion est de 30 à 35 kilogrammes de tout venant Charleroi, à 8 à 10 % de cendres, par mètre carré de surface de grille, pour un tirage naturel ¹ de 2 à 3 millimètres d'eau.

Dans une combustion moyenne, correspondant à un ti-

¹ Le tirage naturel est celui qui est produit uniquement par la cheminée.

rage naturel, la grille brûle de 50 à 80 kilogrammes de tout venant pour une dépression de 3^{mm},5 à 4 millimètres d'eau.

Dans une combustion active correspondant à un tirage naturel, la grille brûle plus de 100 kilogrammes pour une dépression de 7 à 10 millimètres d'eau.

Une même chaudière donne des résultats différents, en ce qui concerne le coefficient de vaporisation, la vaporisation totale et la vaporisation spécifique suivant l'activité de la combustion qui définit son allure.

Le coefficient de vaporisation, et les vaporisations totale et spécifique, augmentent, en général, avec l'activité de la combustion.

Le coefficient de vaporisation et la vaporisation spécifique diminuent avec l'activité de la combustion, c'est-à-dire avec l'allure et, par conséquent, la vaporisation totale.

Ainsi, par exemple, telle chaudière qui donne 8 à 9 kilogrammes de vapeur par kilogramme de charbon pour une activité de combustion qui correspond à sa puissance de vaporisation totale ne donnera, en général, que 6 kilogrammes à 6^{kg},500 pour une activité de combustion correspondant à une puissance de vaporisation égale à la moitié de la puissance totale. La puissance spécifique variera dans la même proportion.

La combustion dépendant de la nature du combustible, de la manière dont le feu est conduit et du tirage, nous étudierons tout d'abord les combustibles employés pour le chauffage des chaudières, puis le fonctionnement d'un foyer ; enfin, les divers modes de tirage qui peuvent être employés pour augmenter l'activité de la combustion et avec elle la puissance de vaporisation.

CHAPITRE II

LA COMBUSTION DANS LES CHAUDIÈRES¹

I. COMBUSTIBLES EMPLOYÉS DANS LES CHAUDIÈRES

23. **Emploi de la houille.** — Les combustibles employés pour le chauffage des chaudières peuvent être à l'état solide, liquide ou gazeux.

Le charbon de terre est le combustible solide qui est le plus employé pour cet usage. On l'utilise directement comme houille ou anthracite, et quelquefois à l'état de coke.

Les houilles se distinguent entre elles par leur teneur en carbone, en hydrogène, en oxygène et azote, et aussi par des caractères particuliers, tels que la grosseur des fragments et la teneur en matières minérales incombustibles.

Plus une houille contient d'hydrogène libre (non uni à l'oxygène pour former de l'eau), plus elle donne d'hydrocarbure en brûlant et, par suite, plus elle est flambante ; dans ce cas, elle donne une proportion relativement faible de coke.

L'anthracite est un charbon plus compact que la houille ordinaire, il brûle sans subir une distillation très intense, et il donne relativement peu de gaz.

L'anthracite donne une flamme courte fournissant de

¹ Voir E. JOUQUET, E. S. *Moteurs thermiques*, p. 136.

la chaleur rayonnante, mais peu de chaleur par convection ; il exige, en général, pour une même chaudière, un foyer plus grand que les houilles grasses.

Ce dernier genre de combustible ne convient pas pour le chauffage des chaudières. Les houilles grasses maréchales ou à longue flamme donnent, en effet, trop de carbures, elles donneraient beaucoup de fumée dans les foyers. De plus, elles ont l'inconvénient de se coller aux grilles et d'obstruer les passages d'air.

Il existe des houilles à longues flammes contenant moins de carbures que les précédentes et se collant moins qu'elles aux grilles, et pouvant, par suite, convenir pour l'usage spécial dont il s'agit : ce sont les houilles sèches à longues flammes.

Les houilles qui conviennent le mieux pour le chauffage des chaudières sont les houilles maigres ou demi-grasses à courtes flammes et les houilles sèches à longue flamme.

Elles sont caractérisées par une proportion relativement faible de matières volatiles et un grand pourcentage de charbon fixe.

Par leur charbon fixe, elles donnent aux foyers qui les brûlent un volant de chaleur suffisant pour transformer en oxyde de carbone, puis en acide carbonique, la faible proportion d'hydrocarbures qui constitue leur partie volatile. Elles brûlent en donnant relativement peu de fumée, et leur emploi se recommande tout particulièrement dans les foyers que l'on veut rendre fumivores en utilisant seulement le tirage naturel des cheminées.

24. Classification des charbons. — Ces diverses qualités de houille ont des teneurs en charbon fixe

pouvoir supporter sans se briser des manutentions et des transports.

Les charbons contenant des pyrites ne conviennent pas pour le chauffage des chaudières parce que, en stocks, ils s'échauffent et risquent de mettre le feu à la masse¹ et que, en brûlant sur la grille, ils donnent de l'acide sulfureux qui, transformé en acide sulfurique, attaque les tôles des générateurs.

25. Pouvoir calorifique des combustibles. — Le pouvoir calorifique d'un charbon, défini par le nombre de calories que contient 1 kilogramme de ce combustible, intervient dans l'évaluation du rendement thermique d'une chaudière.

Le pouvoir calorifique d'un combustible peut se déterminer par plusieurs procédés :

- 1° des *procédés calorimétriques* ;
- 2° des *procédés chimiques*.

Le procédé dit de la bombe de *Mahler* est le type des procédés calorimétriques. Il consiste à faire brûler 1 gramme de combustible à l'aide d'oxygène pur introduit sous pression dans un récipient hermétiquement fermé, et à mesurer par des opérations calorimétriques le nombre de calories dégagées.

Ce procédé s'applique à un combustible quelconque solide, liquide ou gazeux ; il a l'inconvénient de nécessiter

¹ Le charbon subit une oxydation lente à l'air. Accumulé en grande masse, il s'échauffe et risque de s'enflammer spontanément. Ce danger est d'autant plus à craindre que le charbon est plus pyriteux.

des opérations qui ne peuvent guère être faites en dehors d'un laboratoire.

Les *procédés chimiques* ne sont pas appliqués, en général, à la détermination du pouvoir calorifique des combustibles gazeux ou liquides, pour lesquels il est préférable d'employer une méthode calorimétrique. Mais, par contre, ils sont quelquefois employés pour la détermination du pouvoir calorifique des combustibles solides.

Ils consistent à déterminer les poids de certains constituants, l'hydrogène, le charbon fixe, les gaz combustibles contenus dans 1 kilogramme du combustible considéré, et à porter ces poids dans une formule appropriée pour trouver le pouvoir calorifique cherché.

Si H, C et C' désignent les poids d'hydrogène de charbon fixe et de gaz combustibles contenus dans 1 kilogramme de combustible, le pouvoir calorifique de ce combustible sera donné par la formule suivante, due à *Cornut*.

$$8080C + 11214C' + 34462H = Q.$$

Cette formule suppose que le pouvoir calorifique du charbon pur est de 8080 calories, celui des gaz combustibles de 11214 calories et celui de l'hydrogène de 34462 calories. Elle s'accorde à 1 à 2 % près avec les pouvoirs calorifiques déterminés par les procédés calorimétriques.

Dans la pratique, on emploie généralement des formules plus simples ne faisant intervenir que des quantités facilement mesurables, telles que le charbon fixe et les gaz combustibles, ou les déchets, tels que l'eau et les cendres.

La formule de M. Goutal ne fait intervenir que la proportion C de charbon fixe ou coke et la proportion V de matières volatiles.

La formule de M. Goutal est la suivante :

$$Q = 82 C + aV$$

a est un coefficient variable suivant la teneur en matières volatiles :

V en %	a	V en %	a
5	145	30	96
10	130	40	80
20	110	55	70

Cette formule donne le pouvoir calorifique d'accord à 1 à 2 % près avec les méthodes calorimétriques.

M. Lenoble a donné dans une communication à la Société chimique la formule suivante pour obtenir le pouvoir calorifique :

$$Q = 87,4 (100 - K)$$

K représente la somme des pourcentages de cendres et d'humidité.

Cette formule donne des résultats sensiblement d'accord avec les mesures calorimétriques jusqu'à 8500 calories, lorsque les essais sont effectués sur des combustibles à teneur moyenne en matières volatiles. Elle a le grand avantage de n'exiger que deux mesures faciles à faire, même dans les chaufferies.

Le pouvoir calorifique des charbons varie de 8700 calories pour les anthracites de la Mayenne, ne contenant

pas 1 % de cendres, à 7300 calories, pour les houilles maigres de Blanzky contenant 0,28 % de cendres.

Dans la pratique, le pouvoir calorifique absolu n'a qu'une importance secondaire. Ce qu'on cherche plutôt, c'est à se rendre compte de la valeur commerciale d'un combustible, valeur qui résulte de sa comparaison avec d'autres échantillons de même nature dont on connaît les prix et dont la qualité s'apprécie par divers essais.

26. Essais des combustibles. — La qualité d'un combustible s'apprécie à différents points de vue et suivant que cette appréciation est basée sur la teneur en cendres ou sur le poids de vapeur produit par kilogramme de charbon, sa valeur se déduit des résultats de l'*essai d'incinération sur grille* ou ceux de l'*essai de vaporisation*.

Lorsque l'appréciation de la qualité des combustibles est basée uniquement sur leur teneur en produits utilisables, charbon fixe et gaz combustibles, leur valeur se déduit des résultats de l'*essai de laboratoire*.

Dans l'*essai d'incinération sur grille*, on détermine le poids de cendres contenu dans 100 kilogrammes de charbon brûlé sur une grille, et de ce résultat on déduit le prix du même échantillon de combustible ne contenant pas de cendres. Ce mode d'appréciation de la valeur d'un combustible ne tient pas compte du poids d'eau qu'il contient.

Dans l'*essai de vaporisation*, on détermine le poids de vapeur produit par kilogramme de charbon essayé. La valeur de ce charbon se déduit du prix du mètre cube de vapeur produit en l'employant. Ce mode d'appréciation a l'inconvénient d'être influencé par la vaporisation de la

chaudière ayant servi à l'essai, par le tirage de son foyer et par la conduite du feu, c'est à dire par l'habileté du chauffeur.

L'*essai de laboratoire* a pour but de déterminer la teneur en gaz combustibles en charbon fixe, en cendres et en eau d'un charbon. La valeur du combustible se déduit de la proportion de matières utilisables qu'il contient, c'est-à-dire de la teneur en charbon fixe et en gaz combustibles. Ce procédé est rapide et sûr, mais comme l'essai porte sur une très faible quantité de combustible, 40 à 50 grammes, prélevé sur un échantillon moyen, la précision qu'il comporte dépend du soin apporté dans la constitution de cet échantillon.

L'échantillon moyen sur lequel est prélevée « la prise d'essai » comprend des proportions de gailletterie et de menu égales à celles du combustible d'où il est tiré ; l'homogénéité est obtenue par un mélange et un broyage convenables.

28. Emploi des combustibles liquides. — Le pétrole est le seul combustible liquide qui soit employé actuellement pour le chauffage des chaudières, encore ne l'emploie-t-on d'une façon courante que dans les pays de production, dans le Caucase, la Pensylvanie, le Texas, etc. Cependant, depuis quelques années, son usage se répand à bord des navires de commerce et de guerre en raison de l'intérêt que présente pour eux, au point de vue de l'étendue de leur zone d'action, l'emploi d'un combustible contenant, à poids égal, un plus grand nombre de calories que le charbon ordinaire.

Le pétrole est utilisé à l'état brut ou sous forme de résidus épais provenant de la distillation ou de la rectifi-

cation du pétrole brut. Ce combustible a un pouvoir calorifique compris entre 10 500 et 11 000 calories par kilogramme.

Lorsque le pétrole est utilisé à l'état brut, il est pulvérisé au moyen d'un jet de vapeur qui entraîne en même temps l'air nécessaire à sa combustion, puis il est enflammé et brûlé dans des foyers organisés spécialement pour résister aux hautes températures développées dans la combustion.

Les foyers organisés pour brûler du pétrole ne comportent pas de grille, ils sont constitués par une sorte de four garni de matériaux réfractaires, formant une enceinte autour de laquelle se groupent les éléments vaporisateurs de la chaudière.

Le fonctionnement de ces brûleurs occasionne une assez grande dépense de vapeur. De plus, l'introduction d'une certaine quantité de vapeur dans le foyer a pour effet de réduire la température de celui-ci ; aussi, à ces brûleurs à vapeur, on substitue maintenant des brûleurs à air comprimé.

Le brûleur Körting est un brûleur de ce genre ; appliqué à des chaudières tubulaires, il permet d'obtenir un coefficient de vaporisation de plus de 13 kilogrammes de vapeur par kilogramme de combustible, alors que le pétrole utilisé dans un brûleur à tirage naturel ne produit que 12 kilogrammes par kilogramme de combustible.

En rapprochant ces résultats de ceux que l'on obtient avec du charbon de bonne qualité, vaporisant de 7 à 8 kilogrammes dans le même appareil et pour le même tirage, on met en évidence l'intérêt qui s'attache à l'emploi d'un tel combustible pour le chauffage des chaudières.

Le brûleur Körting fonctionne à l'air comprimé sans

vapeur. L'air est fourni par un ventilateur soufflant, donnant une pression de 100 millimètres.

Dans le dispositif le plus communément employé, le pétrole est chauffé à une température qui est fonction du débit du brûleur. Il parvient à cet appareil après deux filtrages. Pour une consommation de 130 kilogrammes de pétrole par heure, la température du pétrole est de 100° environ, et la pression d'injection au foyer 4^{kg},2. Pour une consommation de 220 kilogrammes par heure, la pression doit être de 10 kilogrammes et la température du pétrole de 65°. D'une manière générale, la pression doit croître en sens inverse de la température.

Le pétrole est injecté sous la forme d'une nappe de pulvérisation qui s'enflamme à 20 centimètres de l'orifice de sortie du brûleur. Cette nappe de flammes chauffe uniformément le foyer et donne lieu à une conduite très facile du chauffage de la chaudière.

La fumivorité absolue du foyer qui est favorisée par la haute température qui y règne est obtenue par un réglage convenable des arrivées d'air.

Lorsque le pétrole est sous forme de mazous, ou de produits pâteux difficiles à injecter dans un foyer, on le mélange à du combustible solide, relativement pauvre en matières volatiles et en charbon fixe, et on le brûle sur une grille appropriée.

Le pétrole est aussi très employé en Russie et en Amérique, dans les régions productives, pour le chauffage des locomotives ¹.

Bien que l'utilisation du pétrole soit avantageuse pour le chauffage des chaudières de traction et des chaudières

¹ J. NADAL. *Locomotives à vapeur*. E. S.

marines, l'emploi de ce combustible ne paraît pas cependant devoir se généraliser, car ses applications particulières tendent de plus en plus à en faire directement usage dans des moteurs à pétrole, sans passer par l'intermédiaire de la vapeur. Les moteurs à combustion sont particulièrement aptes à ce genre d'utilisation de ces pétroles lourds.

28. Emploi des combustibles gazeux. — Les gaz de hauts fourneaux sont les seuls combustibles gazeux qui aient été employés jusqu'ici d'une façon industrielle pour le chauffage des chaudières. Ils étaient considérés jusqu'à ces derniers temps comme des résidus de fabrication que l'on ne pouvait utiliser que pour réchauffer le vent destiné à alimenter les tuyères du haut fourneau qui les produisait, et pour chauffer les chaudières commandant les machines à vapeur de ses machines soufflantes.

A l'heure actuelle, on sait épurer le gaz de haut fourneau en le débarrassant de toutes les poussières qu'il contient et on peut l'utiliser directement dans des moteurs à gaz. On a ainsi une utilisation beaucoup plus avantageuse que celle qui consiste à le brûler dans les foyers des chaudières.

II. RÔLE DES DIVERSES PARTIES D'UN FOYER

Un foyer de chaudière comprend les parties principales suivantes :

La grille, l'autel, le cendrier, la chambre de combustion.

29. **Grille.** — La grille est formée de barreaux en fonte ou en acier juxtaposés, s'appuyant à l'arrière sur la sole du foyer et aboutissant à l'avant sur l'autel.

La forme des barreaux, déterminant les entrées d'air, ainsi que les dimensions des parties pleines par rapport aux vides sont assez variables.

En général, les barreaux ont une section trapézoïdale, ils laissent entre eux un intervalle en forme d'ajutage qui favorise le soufflage du foyer et facilite le décrassage.

Les entrées d'air, ou intervalles compris entre les barreaux, sont variables suivant la nature et la qualité du combustible employé.

Les grilles diffèrent entre elles par la forme des barreaux, la disposition et l'importance relative des entrées d'air. La grille qui donne les meilleurs résultats, pour un foyer un charbon et un tirage donnés, est celle qui laisse passer la quantité d'air suffisante pour brûler tout le combustible du foyer, sans refroidissement des gaz carbonés provenant de sa distillation, car ce refroidissement donne naissance à des fumées et, par suite, à une diminution du rendement thermique.

La grille d'une chaudière a donc une influence sur la fumivorité du foyer, aussi a-t-on imaginé un grand nombre de systèmes spéciaux dans le but de donner au foyer cette qualité qui lui assure aussi un bon rendement.

Les grilles spéciales les plus répandues sont destinées, les unes à faciliter et à rendre automatique l'introduction du charbon; d'autres, à faciliter le décrassage et le ringardage, à faciliter l'arrivée et le réglage de la quantité d'air.

Enfin, des grilles spéciales sont nécessaires lorsqu'on emploie des combustibles très maigres, ou pulvérulents.

Les combustibles gazeux ou liquides se brûlent nécessairement dans des foyers spéciaux ne comportant, pour la plupart, aucune grille.

30. Autel. — L'autel est constitué par un ressaut en maçonnerie placé à l'entrée de la chambre de combustion.

Son rôle est de brasser les gaz à l'endroit le plus chaud du foyer.

Ce brassage favorise la combustion complète des hydrocarbures provenant de la distillation du combustible aux divers points de la grille.

Dans les foyers intérieurs verticaux de certaines chaudières (Chaudières Field) l'autel est remplacé par une chicane spéciale constituée par une sorte de poire en fonte brisant le jet de flammes, et produisant le brassage des gaz.

Les voûtes en briques et les bouilleurs plats de foyers genre Tenbrinck ¹, placés à l'entrée des tubes dans la plaque tubulaire avant des locomotives, ont le même but.

31. Chambre de combustion. — Dans les chaudières fixes, l'espace compris entre l'autel et le fond du foyer est appelé *chambre de combustion*.

Dans les chaudières tubulaires à foyer intérieur cette chambre est constituée par l'espace compris entre l'autel et la plaque tubulaire avant.

Les gaz du foyer subissent dans cette chambre un brassage énergique qui a pour effet de favoriser la combustion complète des carbures qu'ils contiennent.

¹ NADAL. E. S.

32. **Cendrier.** — Le cendrier est placé au-dessous de la grille. Dans quelques foyers fixes une couche d'eau permet au chauffeur de voir par réflexion l'état de la grille. Cette eau sert aussi à éteindre les escarbilles qui tombent du foyer; enfin, par son évaporation, elle refroidit la grille et, par suite, tend à empêcher le charbon de se coller aux barreaux et d'obstruer les entrées d'air.

III. FONCTIONNEMENT D'UN FOYER — COMBUSTION —

33. **Considérations générales.** — Pour qu'une combustion soit bien menée, il est nécessaire que la température des gaz dans le voisinage de l'autel, et dans la chambre de combustion, ne descende jamais au-dessous de la température de combustion des carbures, c'est-à-dire 800° environ; sinon, il se produit un dépôt de charbon dans les carneaux et une partie du combustible échappe à la combustion en produisant des fumées.

La température du foyer doit donc varier de 700° environ, au milieu de la grille, à 850° à 900° dans la chambre de combustion, au voisinage de l'autel.

Le tirage devra être suffisant pour que l'air nécessaire à la combustion, traverse la couche de charbon de la grille, sans cependant qu'il soit en trop grande quantité pour refroidir le foyer et occasionner des fumées. (Il faut de 12 à 13 kilogrammes d'air par kilogramme de charbon brûlé.)

Ces conditions sont assez difficiles à réaliser rigoureusement dans la pratique; le seraient-elles, qu'elles ne subsisteraient que pendant très peu de temps, car l'état

d'un foyer n'est jamais constant, surtout dans les chaudières qui sont chargées à la main, et dont le foyer est par suite refroidi chaque fois que l'on ouvre ses portes.

Ces refroidissements donnent lieu à des fumées, et à des dislocations des tôles, inconvénients qui sont d'autant plus importants que le courant d'air est plus violent.

La fermeture des registres est donc de règle lorsqu'on charge un foyer, et les dispositifs qui font l'opération automatiquement sont de ceux qui améliorent, d'une façon simple, la fumivorté des foyers.

Enfin, toutes les autres causes de refroidissement du foyer, telles que le chargement avec du charbon humide, ou mis en trop grande quantité à la fois sur la grille, sont à éviter dans les combustions bien menées.

Divers moyens sont employés pour se rendre compte du bon fonctionnement d'un foyer ; le plus simple consiste à observer les fumées que rejette la cheminée.

Une fumée noire et abondante est toujours l'indice d'une combustion défectueuse, dans laquelle la température du foyer est trop basse et l'air en trop faible quantité.

Une bonne combustion est caractérisée par l'absence de fumée, sauf toutefois pendant les quelques secondes qui suivent le chargement, lorsque celui-ci se fait à la main et par l'ouverture des portes.

Une bonne combustion est obtenue non seulement par l'organisation rationnelle de tout le circuit réservé aux flammes et aux gaz chauds, gaines de fumée, chambre de combustion, entrées d'air de la grille, mais aussi par la conduite du feu, c'est-à-dire par une bonne tenue de la grille, par un ringardage et un décrassage du foyer laissant les entrées d'air constamment dégagées, enfin par un chargement méthodique ne risquant pas de refroidir

outre mesure le foyer, et obligeant les gaz combustibles provenant de la distillation du charbon à passer sur les charbons incandescents de la grille.

D'autres moyens peuvent être employés pour se rendre compte du fonctionnement du foyer. Ils consistent à mesurer la température des flammes, celle des fumées rejetées, et à analyser les gaz expulsés dans la cheminée.

La température du foyer qui correspond à une bonne combustion est variable avec l'activité de la combustion et le tirage.

Dans les chaudières à foyer extérieur et pour une activité de combustion de 50 kilogrammes correspondant à un poids d'air de 12 kilogrammes par kilogramme de houille, la température du foyer est voisine de 1 100°.

Elle atteint 1 300° lorsque l'activité de la combustion atteint 400 kilogrammes (d'après Ser).

Pour un tirage donnant un excès d'air, correspondant à 24 kilogrammes d'air par kilogramme de houille et des activités de combustion de 50 et de 400 kilogrammes, les températures du foyer seraient respectivement, d'après le même auteur, de 910° et 880°.

Ces divers résultats s'appliqueraient aussi très approximativement aux chaudières à foyer intérieur. Ils montrent que plus l'allure est vive, plus la température est élevée, et plus un excès d'air a une tendance à refroidir le foyer jusqu'à la limite de 800° environ, au-dessous de laquelle les hydrocarbures ne sont plus brûlés et où, par suite, les fumées apparaissent.

En règle générale, on peut admettre que la température de 950 à 1 000°, ou le rouge cerise clair des métallurgistes, est une température qui assure aux foyers un bon fonctionnement.

La température des gaz expulsés dépend, comme celle du foyer, des mêmes facteurs, activité de combustion et tirage ; elle dépend, en outre, du circuit imposé aux flammes, c'est-à-dire de circonstances particulières à l'installation. Elle est comprise entre 250 et 400° suivant que l'allure est modérée ou vive. Descendant en dessous de 250°, elle indiquerait une température trop faible pour les gaz du foyer et, par suite, elle serait un indice de mauvais fonctionnement.

Atteignant 400° elle serait l'indice d'une utilisation insuffisante de la chaleur du foyer.

Ces considérations montrent combien il est intéressant de connaître la température d'un foyer et celle des gaz qu'il expulse. Il existe, en effet, une relation assez étroite entre ces éléments et le coefficient de vaporisation ; si elle était connue elle donnerait le moyen de réaliser des économies de combustible par une conduite rationnelle de la chauffe. Aussi, l'emploi des appareils enregistreurs : thermomètres, pyromètres, manomètres de tirage, est-il à recommander.

34. Mesure de la température des flammes et des gaz d'un foyer. — La température des flammes est mesurée par des procédés analogues à ceux qu'emploient les métallurgistes pour évaluer des températures du même ordre, c'est-à-dire en faisant usage des pyromètres, des calorimètres et des montres de Séger. Pour mesurer la température des gaz de la cheminée on peut se servir des calorimètres, des pyromètres, qui donnent des indications pour les températures non lumineuses, et des thermomètres.

Les pyromètres les plus employés sont :

Le pyromètre thermo-électrique de M. Le Chatelier. — Il se compose d'un couple thermo-électrique formé de deux fils, l'un de platine pur fondu, l'autre de platine rhodié, à 10 %, mis en communication avec un galvanomètre. Ce dernier appareil est gradué directement en servant des points fixes donnés par les points de fusion de certains corps.

On emploie généralement, comme points fixes pour les hautes températures, le point de fusion de l'or, qui est de $1\ 045^{\circ}$, et celui du platine, qui est de $1\ 775^{\circ}$. Pour les basses températures, on emploie le point de fusion du plomb 325° , celui du zinc 415° ou les points d'ébullition du mercure 350° ou du soufre 448° .

Le pyromètre Le Chatelier est le plus précis des instruments de ce genre, il permet d'obtenir les températures de $1\ 000$ et $1\ 200^{\circ}$ à 10° près, il permet, en outre, d'évaluer des températures non lumineuses telles que celles des gaz de la cheminée.

On emploie aussi dans le même but le couple fer-constantan.

La lunette pyrométrique de M. Féry. — Un couple thermo-électrique est placé dans le plan focal d'une lunette pointée sur le foyer dont on veut mesurer la température.

La quantité de chaleur reçue par ce couple est proportionnelle à la température du point visé, la déviation du galvanomètre, mis en communication avec les deux pôles du couple, est donc proportionnelle à cette même température. Le galvanomètre est gradué en températures par comparaison avec des températures lumineuses connues et considérées comme points fixes.

La lunette polarimétrique Mesuré et Nouel. — Elle mesure les températures en analysant la couleur du rayonnement auquel elles donnent lieu, elle est basée sur les phénomènes de polarisation rotatoire.

Un faisceau polarisé par un premier prisme de Nicol (polariseur) est éteint par un second prisme semblable (analyseur) dont la section principale est perpendiculaire à celle du premier ; mais, si on interpose une lame de quartz entre les deux prismes, le faisceau lumineux ne sera plus complètement éteint par le second Nicol, parce que la traversée de cette lame par le faisceau fait tourner d'un certain angle son plan de polarisation. L'angle de rotation est différent suivant la couleur des rayons, c'est-à-dire suivant leur longueur d'onde. Le second prisme interceptera donc plus ou moins les rayons ainsi inégalement déviés.

Cette polarisation a, par suite, pour effet de modifier la teinte de faisceau incident, et la teinte résultante variera au fur et à mesure que l'on fera tourner le second prisme.

Inversement, si la composition en couleur du faisceau reçu par l'objectif varie, il faudra faire tourner le deuxième prisme dans un sens ou dans l'autre pour retrouver la même teinte résultante. Dans cet appareil la teinte résultante choisie est le « jaune citron », se distinguant nettement de ses voisines, le vert et le rouge. La rotation a donné à l'analyseur pour amener cette teinte donne une mesure de la température de la source de chaleur observée, par lecture d'une graduation tracée empiriquement.

Les calorimètres. — La méthode consiste à placer des disques de fer de poids connu dans le foyer jusqu'à ce qu'ils aient pris la température de celui-ci et, ce résultat

obtenu, de les jeter rapidement dans un *calorimètre à eau* ou un *calorimètre à glace*.

La mesure de la température initiale et de la température finale de l'eau du calorimètre permettra de déterminer la température T du foyer. Si P est le poids en kilogrammes de l'eau du calorimètre, Q le poids des disques de fer, en kilogrammes, t_1 la température initiale de l'eau, t_2 sa température finale, $C = 0,115$, la chaleur spécifique du fer, on a :

$$QC(T - t_2) = P(t_2 - t_1)$$

d'où l'on tire la valeur de T.

Lorsqu'on emploie le *calorimètre à glace*, on mesure le poids P_1 de glace fondue par suite de l'introduction des disques de fer, de poids Q, à la température T. Sachant que la chaleur de fusion de la glace est 79^{cal} ,1 on en déduit la température T inconnue.

$$79,1 P_1 = QCT \quad \text{avec } C = 0,115.$$

Thermomètres. — On fait usage de thermomètres à mercure, mais on emploie rarement les thermomètres à gaz, à hydrogène ou à azote. Il existe, en outre des appareils pyrométriques basés sur la tension que prend une vapeur à une température donnée. Ces appareils comprennent un tube métallique, dans lequel est enfermé un liquide, ou un métal, pour les hautes températures, mis en communication avec un manomètre par l'intermédiaire d'un tube flexible métallique.

Montres de Seger. — Ce sont des pyramides de quelques centimètres de hauteur formées de diverses matières fusibles. La proportion et la nature de ces matières diffèrent selon le point de fusion à obtenir.

La composition formée de :

- 51 % de pegmatite.
- 14 % de sable de Fontainebleau.
- 20 % de craie.
- 15 % de borax fondu.

fond à 625°.

Il existe 50 formules analogues donnant la composition de 50 montres de Seger, indiquant les températures de fusion entre 590 à 1 690°.

35. Analyse des gaz expulsés. — Ces gaz contiennent surtout de l'acide carbonique et de l'air lorsque la combustion est complète.

Lorsqu'elle est incomplète, ils contiennent de l'oxyde de carbone, des hydrocarbures non décomposés et du carbone libre.

Ce sont ces deux derniers éléments qui constituent la fumée.

Pour qu'une combustion soit bonne, il est nécessaire que les entrées d'air soient organisées de manière qu'il y ait un excès plutôt qu'un défaut d'air, car il vaut mieux échauffer un peu trop de gaz inertes que de risquer de perdre du combustible par suite d'une combustion incomplète. S'il y a un excès d'air, l'acide carbonique est en forte proportion et les gaz sont oxydants. Si les gaz contiennent de l'oxyde de carbone et des hydrocarbures, c'est qu'il y a manque d'air et les gaz sont réducteurs.

Dans la pratique courante on se contente généralement de mesurer de temps en temps la température des gaz et de les analyser. Ces opérations se font toujours lorsque l'intensité des fumées indique une combustion défec-

tueuse. Pour les simplifier, on se contente généralement de doser un seul des gaz de la fumée, l'acide carbonique.

Une bonne combustion est caractérisée par une proportion d'acide carbonique de 15 à 17 %¹.

Cependant, dans certaines installations où il est possible d'obtenir une marche très régulière de la combustion, notamment dans les installations qui utilisent les gaz des hauts fourneaux², on trouve quelquefois des appareils fixes installés à demeure qui renseignent à chaque instant le chauffeur sur la marche des foyers.

Ils indiquent soit un changement dans le dosage des gaz expulsés, une plus ou moins grande proportion d'acide carbonique en général, soit une modification de leur densité, produite par une variation de leur température et de leur composition.

Plusieurs moyens peuvent être employés pour reconnaître si les gaz de la fumée sont oxydants ou réducteurs, c'est-à-dire s'ils contiennent de l'acide carbonique, auquel cas il y a excès d'air, ou s'ils renferment de l'oxyde de carbone ou des hydrocarbures, circonstance qui correspond à une combustion incomplète due à un manque d'air.

Ces moyens consistent à utiliser une propriété particulière de l'oxyde de cuivre, ou à absorber les gaz au moyen de réactifs appropriés.

Lorsqu'on veut faire une véritable analyse des gaz, on emploie les appareils appelés *économètres*.

36. Analyseurs de gaz. Emploi de l'oxyde de cuivre.
— Le procédé a pour but de déterminer la nature de la

¹ J. IZART.

² Ces installations sont de plus en plus rares, depuis qu'on utilise directement les gaz des hauts fourneaux dans des moteurs.

réaction, oxydante ou réductrice, produite par les gaz de la fumée.

Il est basé sur la facilité avec laquelle se réduit l'oxyde de cuivre lorsqu'il est placé dans une atmosphère réductrice à haute température.

On expose dans les carneaux un récipient d'oxyde de cuivre, noir à l'état normal ; le produit reste noir si l'atmosphère ambiante est oxydante, il devient rouge si elle est réductrice.

Dans le premier cas, l'air est en excès ; dans le second, il est en quantité insuffisante pour la nature du charbon employé, ou bien la température du foyer n'est pas assez élevée pour assurer une combustion complète des hydrocarbures.

Emploi des réactifs absorbants. — Un moyen simple de doser l'acide carbonique, l'oxyde de carbone et l'oxygène contenus dans la fumée consiste à aspirer un volume déterminé de gaz et à absorber successivement les gaz constituant par des réactifs appropriés. L'acide carbonique est absorbé par une solution de potasse caustique, l'oxygène par une solution de pyrogallol dans la potasse, l'oxyde de carbone par du protochlorure de cuivre.

Emploi des économètres. — L'appareil Orsat (fig. 12) fait ces dosages méthodiquement. Il se compose d'une burette graduée, servant à mesurer le volume de gaz à essayer, et de trois tubes à absorption renfermant l'un une solution de potasse caustique, destinée à absorber l'acide carbonique, le second une solution de pyrogallol dissous dans de la potasse caustique, destinée à absorber l'oxygène, et le troisième du protochlorure de cuivre destiné à absorber

l'oxyde de carbone. Enfin un flacon rempli d'eau distillée, et relié par une tubulure spéciale à la partie inférieure d'une burette, sert, en l'élevant et l'abaissant, à faire barboter successivement la quantité de gaz mesurée dans chacun des tubes absorbeurs.

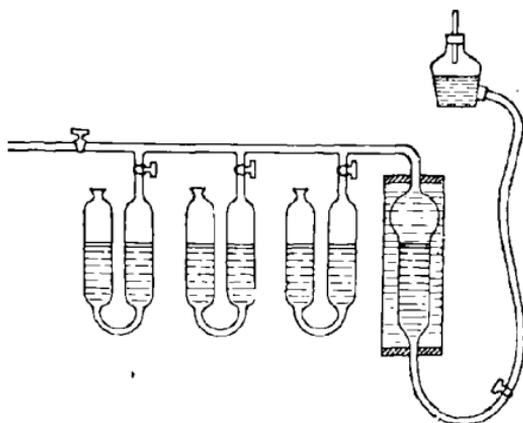


Fig. 12. — Appareil Orsat.

L'appareil Arndt est basé sur les variations de densité de la fumée lorsque la proportion d'acide carbonique qu'elle contient varie.

L'un des plateaux d'une balance est remplacé par un ballon ovoïde, ouvert à sa partie inférieure; l'autre plateau porte la tare.

Le ballon reçoit une dérivation continue des gaz de la cheminée, cette dérivation est constituée par un tube qui pénètre à l'intérieur du ballon, le gaz ressort par l'ouverture inférieure de celui-ci. La tare du plateau opposé est établie de telle façon que l'aiguille soit au zéro lorsque la proportion d'acide carbonique est nulle.

Lorsque la proportion d'acide carbonique augmente, le poids du ballon l'emporte sur la tare et le fléau s'incline de son côté.

L'économètre enregistreur Ados est constitué par un

système d'aspiration envoyant périodiquement dans une éprouvette contenant de la potasse caustique un volume exactement mesuré (100 centimètres cubes) du gaz à analyser. Les gaz subissent une diminution de volume proportionnelle à leur teneur en acide carbonique, et font monter la potasse caustique dans le même rapport. Ce mouvement ascensionnel plus ou moins considérable de la potasse se transmet par un levier à un enregistreur qui indique, à chaque instant, la composition des gaz de la cheminée.

L'économètre Krell-Schultze est basé sur le principe suivant : deux tubes semblables de grande hauteur, 1^m,75 environ, rigoureusement calibrés, sont reliés à leur partie inférieure par une tubulure en U de même diamètre remplie d'un liquide mobile ; l'un des tubes est rempli d'air, dans l'autre tube est aspiré un volume égal du gaz à analyser. Il se produit une dénivellation due à la différence de densité existant entre l'air et le gaz. L'appareil peut donner des indications continues, il peut être rendu enregistreur. L'inventeur a eu recours à un enregistrement photographique ; à cet effet, il a rendu opaque la colonne indicatrice de la différence de niveau proportionnelle à la différence de densité et il a fait dérouler une bande photographique derrière cette colonne.

Economètre Baillet. — Cet appareil (fig. 13) comprend une poche avec compresseur à vis, un tube mesureur, une cloche où se rend l'excès de gaz sortant des tubes absorbants, enfin un jeu de trois tubes destinés à absorber l'oxygène, l'acide carbonique, et l'oxyde de carbone.

L'opération comprend : 1° le mesurage de 100 centi-

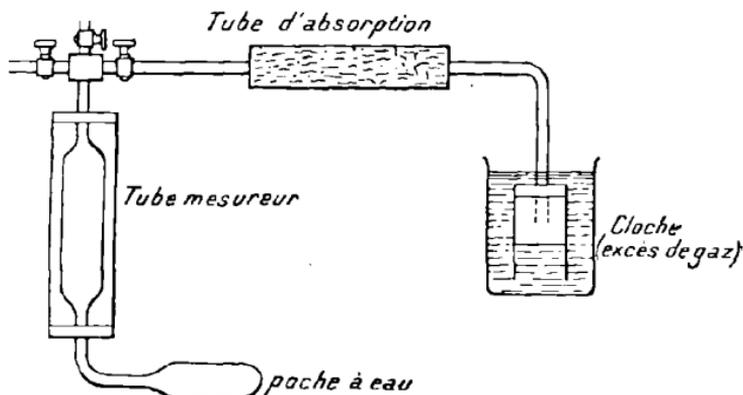


Fig. 13. — Econometre Baillet.

mètres cubes de gaz ; 2° l'absorption, par la manœuvre de la poche, du gaz à analyser ; 3° la mesure du résidu.

IV. FUMIVORITÉ DES FOYERS

37. **Considérations générales.** — Puisqu'il suffit d'obtenir une température de 800 à 850° dans le foyer pour brûler complètement des hydrocarbures provenant de la distillation du charbon, il semble que la fumivorité des foyers soit relativement facile à réaliser.

En fait, elle n'a pu être obtenue d'une façon complète jusqu'ici, malgré les efforts tentés dans ce sens ; cependant, les résultats des concours de foyers fumivores, notamment celui qui fut organisé, en 1898, par la *Ville de Paris*, ont montré que l'on pouvait atténuer, dans une large mesure, l'intensité des fumées industrielles par l'adoption de dispositifs automatiques, ou, plus exacte-

ment, fonctionnant sans exiger l'intervention constante du chauffeur.

Ils montrent, par suite, qu'il est possible d'obtenir une fumivorté suffisante, sans appareils spéciaux, lorsque le chauffeur est habile et attentif, à condition que l'organisation du foyer, les dimensions des gaines de fumée et de la cheminée soient telles que l'air arrive en quantité suffisante pour brûler tout le combustible. Il est indispensable, en outre, que les gaz riches en hydrocarbure puissent se mélanger à l'air dans un espace assez grand, et être soumis à une température assez élevée pour que la combustion soit complète.

L'organisation des foyers a donc une grande importance dans la question, et telle chambre de combustion et telle cheminée qui assurent une bonne marche avec un combustible maigre, tel que celui que l'on emploie généralement, n'auront plus des dimensions suffisantes si l'on brûle des charbons bitumineux ou gras.

Dans certaines villes d'Amérique, les services municipaux imposent, en se basant sur la nature du combustible employé dans la région, des dimensions minima pour les chambres de combustion des chaudières fixes, et aussi pour la section et la hauteur des cheminées qui desservent des chaudières de puissance déterminée.

Grâce à ces mesures, la fumivorté des foyers est grandement améliorée. Cependant on peut obtenir un résultat analogue par l'emploi de dispositifs spéciaux.

38. Foyers fumivores. — Les divers dispositifs imaginés dans le but d'améliorer la fumivorté des foyers peuvent se ranger dans les catégories suivantes :

1° *Les grilles mobiles, tournantes ou se déplaçant dans*

de sens du foyer, recevant le combustible d'un distributeur mécanique qui permet l'alimentation continue à faible charge, sans ouvrir les portes.

C'est un dispositif très répandu, parce qu'on a créé des modèles simples et robustes qui résistent bien au feu.

Son efficacité est suffisante, lorsqu'il est bien réglé pour le charbon employé, et pour le tirage moyen donné par la cheminée, à la condition qu'il s'applique aussi à une station à régime de marche sensiblement constant.

2° *Les systèmes destinés à produire un brassage des gaz dans la chambre de combustion.*

Si ce brassage met en jeu des organes mécaniques, ces organes sont exposés à se détériorer sous l'action du feu et à compromettre l'opération ; aussi, dans la plupart des spécimens d'appareils de cette catégorie produit-on plutôt le brassage des gaz au moyen d'un jet de vapeur, ou d'air comprimé. Ces appareils peuvent être réglés pour divers régimes de marche, ils donnent de bons résultats lorsqu'ils sont employés par un personnel attentif, mais ils donnent lieu à une dépense de vapeur ou de force motrice. Ils ont, en outre, l'inconvénient de refroidir les foyers parce que la vapeur contient toujours une certaine quantité d'eau qui emprunte de la chaleur aux foyers pour se vaporiser, et que l'air comprimé se refroidit en se détendant.

Le brassage des gaz au moyen d'un courant d'air chaud n'a cet inconvénient qu'à un degré moindre ; ce procédé sera avantageusement employé lorsque les circonstances le permettront.

3° *Les systèmes composés de plusieurs foyers, deux en général, l'un brûlant la fumée dégagée par l'autre.*

Les appareils de cette catégorie sont parfois assez difficiles à organiser en raison des dimensions des foyers qu'ils comportent.

4° *Les dispositifs dans lesquels on n'emploie le charbon qu'à l'état pulvérulent.*

Dans certains spécimens, le charbon est entraîné dans le foyer par le courant d'air produit par le tirage, lequel est généralement un tirage forcé. Dans d'autres, le charbon qui est à l'état de menu fin est brûlé sur une grille, à trous d'entrée d'air, soufflée par un jet d'air comprimé ou de vapeur.

Ces appareils sont parfois d'un entretien et d'un réglage délicats. Leur efficacité au point de vue de la fumivoricité dépend en grande partie de leur réglage.

5° *Les appareils du genre des gazogènes dans lesquels le combustible est réduit en gaz avant d'être brûlé dans le foyer.*

Ces appareils sont très efficaces, mais ils sont compliqués ; ce sont, en général, des gazogènes plutôt que des foyers de chaudières.

6° *Les foyers à introduction supplémentaire d'air chaud ou d'air froid, d'air mélangé de vapeur, dans le but de parachever la combustion des corps volatils dégagés.*

Ces appareils sont simples, de construction robuste ; ils sont assez efficaces lorsqu'ils sont bien réglés et qu'ils donnent lieu à des entrées d'air variables suivant les besoins de la combustion.

Enfin, lorsque la fumivoricité n'est pas suffisamment obtenue par l'un de ces moyens, on peut l'améliorer en précipitant les fumées au moyen de pulvérisation d'eau dans les gaines de fumée, mais ce procédé a l'inconvénient d'entraver le tirage et ne peut être employé dans tous les cas.

Souvent, on améliorera d'une façon notable la fumivoricité d'un foyer en augmentant la proportion de charbon fixe du combustible qu'il brûle sur sa grille, ainsi que la quantité d'air introduite dans le foyer.

Cette modification de la qualité du charbon peut se faire par des mélanges appropriés de combustibles de richesses différentes.

L'augmentation de la quantité d'air introduite se fait simplement en augmentant le tirage au moment opportun et d'une façon convenable.

On a essayé aussi d'obtenir la fumivoricité des foyers en utilisant les fumées pour la fabrication d'un gaz, appelé *pyrogaz*, par addition d'un carbure tel que le pétrole ou la benzine. Ce procédé doit être considéré comme tout à fait exceptionnel ; il est très peu employé.

En outre, la solution, qui consiste à chauffer les chaudières au coke ou au gaz de gazogène dans les villes où la fumivoricité est rigoureusement imposée, présente dans certains cas un réel intérêt, même au point de vue économique.

Cette solution serait un acheminement vers celle qui consisterait à concentrer toute la production de force motrice tirée du charbon aux environs des puits de mine et à distribuer à l'Industrie, sous forme électrique, toute l'énergie qui lui est nécessaire, exploitant ainsi l'énergie de la houille ordinaire par les mêmes procédés que ceux

que l'on emploie actuellement pour exploiter l'énergie de la houille blanche.

La question de la fumivorité, qui en dépit des apparences est difficile à résoudre d'une façon parfaite dans la plupart des cas, a fait l'objet d'un grand nombre d'études en Europe et en Amérique. Ces études ont amélioré très notablement la situation à ce point de vue particulier : Londres a vu ses journées de brouillard réduites de moitié grâce aux modifications apportées aux foyers des générateurs, et plus de 50 % des usines qui ont fait des transformations dans ce sens y ont trouvé une économie notable de combustible.

39. Mesure de la fumivorité d'un foyer. — La fumivorité peut faire l'objet de mesures. Il est nécessaire pour cela de la déterminer par rapport à une échelle définissant diverses intensités de fumée.

L'échelle suivante, due au Prof. *Ringelmann*, peut être employée :

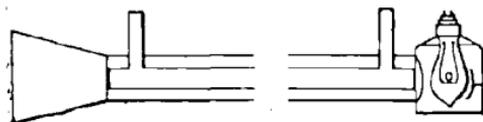


Fig. 14 — Indicateur de fumée.

N° 0. Point de fumée, teinte blanche.

N° 1. Légère fumée grise de teinte comparable à celle d'un quadrillage à angle droit, formé de lignes noires de 1 millimètre de largeur avec blancs de 9 millimètres.

N° 2. Fumée gris foncé, de teinte comparable à celle d'un quadrillage de lignes noires de 2^{mm},3 avec intervalle de 7^{mm},7.

N° 3. Fumée gris très foncé, de teinte comparable à

celle d'un quadrillage de lignes noires de $3^{\text{mm}},7$ avec intervalles de $6^{\text{mm}},3$.

N° 4. Fumée noire, de teinte comparable à celle d'un quadrillage de lignes noires de $5^{\text{mm}},5$ avec intervalles de $4^{\text{mm}},5$.

N° 5. Fumée très noire, teinte noire uniforme.

La figure 15 représente l'échelle d'intensité des fumées adoptée par la Commission municipale d'étude des fumées de la Ville de Paris.

Pour ces mesures, l'association autrichienne des propriétaires d'appareils à vapeur, à Vienne recommande l'indicateur d'intensité de la fumée suivant :

Cet appareil se compose d'un tuyau de 40 à 50 millimètres de diamètre et de 1 mètre de longueur, fermé aux deux bouts par des plaques de verre. Deux tubes s'embranchent sur ce tuyau, l'un en communication le plus directement possible avec les carneaux du foyer servant à l'introduction de la fumée dans le tuyau ; l'autre, en communi-

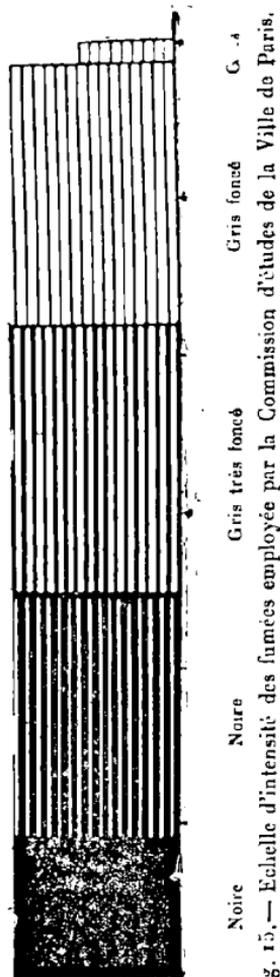


Fig. 15. — Echelle d'intensité des fumées employée par la Commission d'études de la Ville de Paris.

cation avec la cheminée ou un aspirateur quelconque servant à l'évacuation de la fumée. Derrière une des plaques de fermeture du tuyau se trouve une source lumi-

neuse, lampe électrique ou à pétrole, dont l'éclat est plus ou moins obscurci suivant l'intensité de la fumée qui parcourt le tuyau.

Pour éviter que le chauffeur ne soit obligé de mettre son œil dans l'axe du tuyau à chaque observation, et pour permettre une observation pour ainsi dire continue, on enveloppe le tuyau de fumée d'un second tuyau beaucoup plus large, dans lequel la lumière est réfléchiée et vient frapper une plaque transparente fixée à l'extrémité d'un grand tuyau. Un entonnoir protège cette plaque contre les rayons extérieurs.

Lorsqu'il n'y a pas de fumée noire, la plaque offre une teinte uniforme, s'il y a faible production de fumée, le centre de la plaque éclairé plus faiblement s'obscurcit légèrement ; il devient tout à fait sombre si la fumée est intense.

DESCRIPTION DE QUELQUES FOYERS FUMIVORES

40. Grilles mobiles à alimentation continue. —

La grille Tailfer (fig. 16) est une grille de ce genre alimentée par une trémie placée au-dessus d'elle à l'avant du foyer.

Elle se compose essentiellement d'une grille mobile, formée de petits barreaux articulés, pouvant rouler sur deux tambours à six pans, animés d'un mouvement de rotation.

Les barreaux sont assemblés les uns aux autres par des bielles de liaison auxquelles ils sont réunis par des goujons formant axes : la grille forme ainsi une sorte de chaîne Galle sans fin, tendue sur les deux tambours en question.

Le tambour avant, calé sur son arbre, porte un engrenage actionné par une vis sans fin qui permet de le faire tourner.

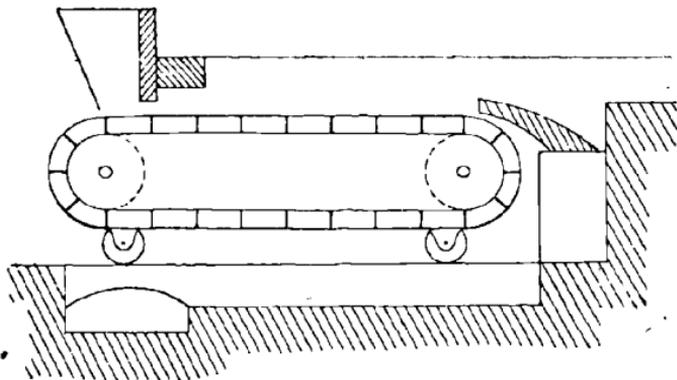


Fig. 16. — Grille Tailfer.

L'avance est donnée soit à la main, soit mécaniquement, en actionnant sa vis sans fin au moyen d'un moteur.

Le tambour arrière est fou sur son arbre; sa distance au tambour avant permet de régler la tension de la grille.

Dans sa position normale, la grille dépasse de 0^m,70 environ la façade de la chaudière.

Les portes du foyer forment le fond de la trémie, elles peuvent être soulevées à l'aide de vis à volant de manière à laisser passer la quantité convenable de combustible.

La trémie est constamment chargée et la grille se meut avec une vitesse de 25 centimètres environ par minute.

La vitesse de la grille et l'ouverture de la porte sont réglées d'après la nature du charbon employé.

L'ensemble de la grille et de ses tambours est monté sur un chariot à galets qui permet de le sortir du foyer pour la visite et les réparations.

La combustion se fait sans entrées d'air froid, et par

suite dans de bonnes conditions pour obtenir, à la fois, une économie de combustible, une bonne vaporisation et une fumivorité satisfaisante.

La houille se sèche avant d'entrer dans le foyer ; puis, dans la région avant de la grille, il distille. Les produits de cette distillation passent sur le coke incandescent et sont brûlés. Le charbon fixe, maintenant transformé en coke, passe à l'arrière du foyer, jusque vers l'autel, et dans ce trajet il se brûle complètement. Les cendres et les mâchefers tombent dans le cendrier, d'où ils sont extraits à la main ou quelquefois par un transporteur mécanique.

41. Foyer mécanique fumivore, système Biérix Leflaive et Cie (St-Etienne). — Ce foyer comprend deux parties essentielles qui sont (fig. 17) :

le distributeur de combustible,
la grille.

Le distributeur est constitué par un cylindre broyeur recevant le combustible d'une trémie placée au-dessus de lui. La paroi avant de la boîte, dans laquelle tourne le cylindre broyeur, porte, comme celui-ci, des couteaux amovibles, et s'appuie contre des ressorts, de telle sorte que l'appareil ne puisse être mis hors de service par le passage de corps durs, tels que pierres, morceaux de fer, etc.

Si un corps de cette nature se présente entre le cylindre et la paroi, celle-ci s'écarte et le corps dur passe directement sur la grille sans détériorer le broyeur.

Grâce à ce distributeur, le charbon est réduit à l'état de morceaux de grosseur uniforme, et est réparti d'une façon régulière sur la grille.

La grille est constituée par une série de barreaux in-

clinés de 40 à 50°, s'appuyant d'une part sur un sommier inférieur, d'autre part sur la partie avant du couloir.

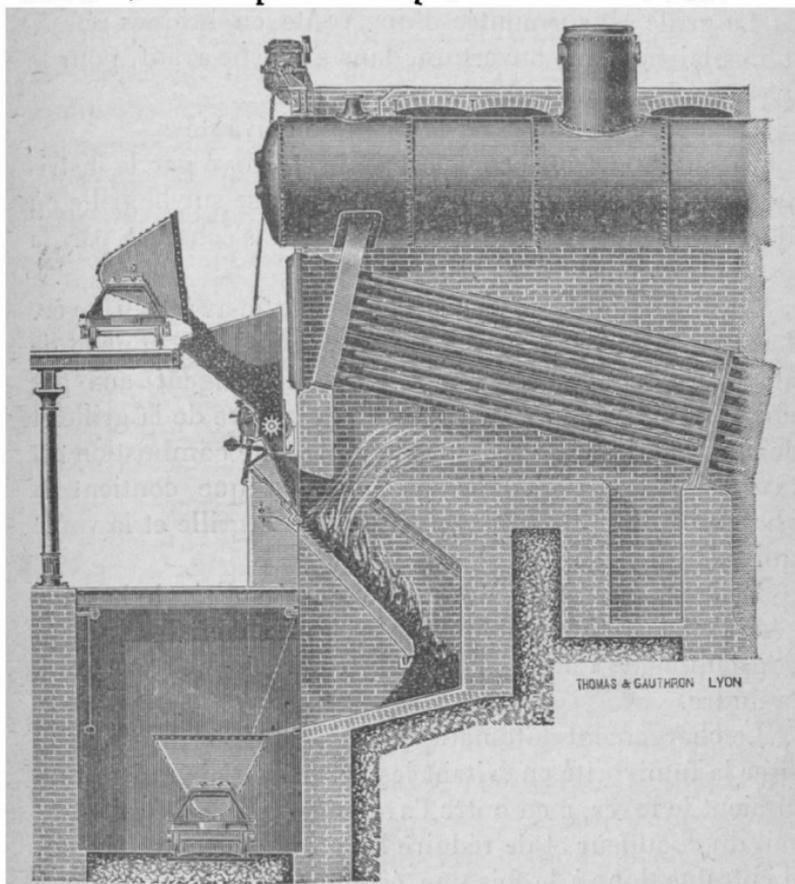


Fig .17. — Foyer fumivore Bietrix, Lellaive te C^o.

Chaque barreau est arrosé au moyen d'un petit jet d'eau, débouchant d'un tuyau collecteur placé en travers de la grille. L'eau coule ainsi le long de l'arête inférieure

du barreau en le refroidissant et en se transformant en vapeur.

La grille est surmontée d'une voûte en briques réfractaires laissant une ouverture, dans sa partie avant, pour le passage des flammes.

Ce foyer fonctionne de la manière suivante :

Le charbon, versé dans la trémie et broyé par le distributeur, descend dans le couloir puis passe sur la grille où il remplace le combustible brûlé qui s'échappe par la partie inférieure de la grille.

La distillation commence dans la partie avant du foyer. Les produits de la distillation traversent une couche de charbon incandescent, puis ils se mélangent aux gaz chauds qui viennent de la partie inférieure de la grille et achèvent de se brûler complètement. Cette combustion est favorisée par la chaleur considérable que contient la chambre incandescente constituée par la grille et la voûte qui la surmonte.

L'air nécessaire pénètre par les entrées d'air de la grille sous l'effet du tirage naturel de la cheminée, la grille étant constamment refroidie, les obstructions ne sont pas à craindre.

Le chargement automatique, qui contribue déjà à favoriser la fumivortité en évitant les rentrées d'air qui refroidiraient le foyer, a en outre l'avantage de simplifier le travail du chauffeur et de réduire les gaspillages de charbon. Il entraîne donc à la fois une économie de main-d'œuvre et de combustible, tout en améliorant le coefficient de vaporisation du générateur qui l'emploie.

42. Foyer Créceveur. — Dans ce foyer, (fig. 18) le charbon est chargé au moyen d'une trémie dont la plaque

d'avant est animée d'un léger mouvement d'oscillation. Ce mouvement a pour effet de faire avancer peu à peu le combustible sur la grille. Pour faciliter ce mouvement, la grille est fortement inclinée et formée de barreaux également oscillants. Les mâchefers, poussés lentement vers l'autel, atteignent une petite grille qu'on fait basculer de temps en temps de manière à laisser tomber toutes les scories dans le fond du cendrier.

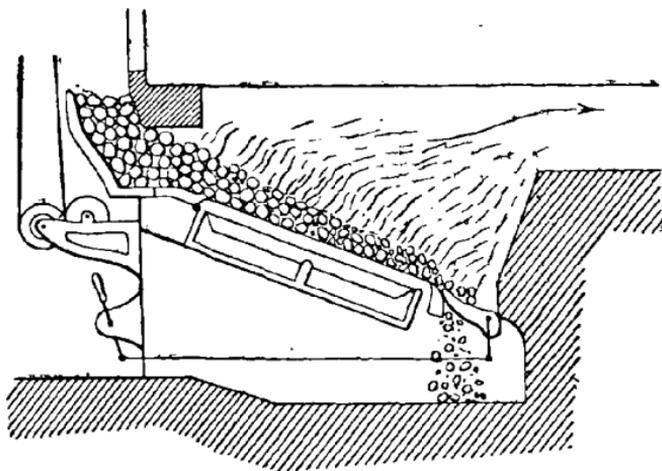


Fig. 18. — Foyer Crèveur.

Le charbon frais se trouve à l'avant de la grille, et plus la combustion avance, plus le charbon s'approche de l'autel. Grâce au chargement automatique, et au tisonnage du foyer produit par les mouvements de la grille, on peut éviter les rentrées d'air froid dans le foyer et obtenir une combustion sans fumées.

43. Grille à lames de persiennes, système Poillon (M. Poillon, ingénieur à Amiens). — Cette grille est

constituée par des barreaux spéciaux, ou des plaques à lames de persiennes, tels que les entrées d'air qu'ils forment créent à l'intérieur du foyer deux séries de jets opposés produisant un brassage énergique des gaz combustibles. La grille proprement dite est accompagnée d'un souffleur qui agit sous la grille elle-même. Les entrées d'air de la grille sont très larges à leur partie inférieure et très étroites à leur partie supérieure, elles forment ainsi des sortes d'ajutages dans lesquels l'air prend une grande vitesse. Elles sont inclinées vers l'arrière du foyer, sur les $\frac{3}{4}$ environ de la grille dans la partie avant ; en sens contraire, dans la partie arrière.

Les nappes d'air ainsi formées forcent les flammes à s'épanouir en éventail à une certaine distance des tôles de coup de feu, elles permettent d'éviter les détériorations aux tôles provenant du dard de chalumeau que donnent parfois les grilles des foyers soufflés par dessous. Grâce à elles, il existe une certaine pression dans le foyer et l'ouverture des portes ne donne pas lieu, comme dans les foyers à tirage naturel, à un courant d'air qui refroidit le foyer et occasionne des dislocations des tôles et des tubes.

Un deuxième avantage très important de cette grille résulte du brassage énergique qu'elle donne aux gaz aux environs de l'autel, dans la partie la plus chaude du foyer. Ce brassage facilite la combustion complète des hydrocarbures et favorise la fumivoreté du foyer ; cette combustion complète des produits volatils de la houille donne toujours lieu à une économie de combustible.

44. **Foyer fumivore, système J. Hinstin.** — Le foyer est organisé de manière que les gaz combustibles et

l'air nécessaire à leur combustion se rencontrent dans une partie du foyer où règne une température suffisante pour parachever cette combustion.

Le résultat a été obtenu au moyen de carnaux en terre réfractaire assurant la direction et l'échauffement des courants, et de registres qui règlent la proportion convenable des mélanges gazeux.

Le dispositif adopté dans la pratique varie avec le genre de chaudière auquel il s'applique.

Dans les chaudières à bouilleurs, une voûte surbaissée en briques sépare l'avant foyer de l'arrière en créant une chicane qui empêche l'air de la porte d'entraîner trop rapidement vers l'autel les hydrocarbures décomposés sur la partie avant de la grille (fig. 19).

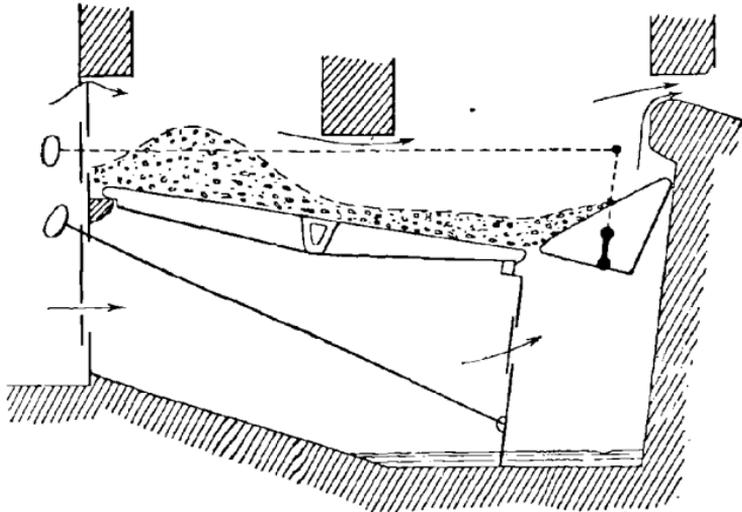


Fig. 19. — Foyer Hinstin.

La grille, inclinée vers l'autel, se raccorde avec une petite grille articulée ou *jette-feu* qui sert au décrassage

du foyer. Ces deux grilles sont inclinées en sens inverse l'une de l'autre et forment avec l'autel un espace dans lequel le coke incandescent peut se loger en grande quantité en constituant à cet endroit un volant de chaleur assez considérable pour brûler tous les hydrocarbures formés à l'avant du foyer.

Le chargement se fait à l'avant de la grille, l'échauffement et la distillation du combustible se produisent sous l'afflux d'une grande quantité d'air, dont une partie traverse la grille et le charbon, et une autre, entrant par des ouvertures réglables ménagées dans la porte de chargement, passe sur la couche de combustible.

Le cendrier est divisé en deux compartiments par une plaque de tôle percée d'un petit orifice de façon à envoyer moins d'air à l'arrière qu'à l'avant du foyer.

L'air se mélange ainsi au gaz provenant de la distillation du charbon. Ce courant gazeux est infléchi par la voûte qui règne au dessus de la grille, puis il passe dans la partie chaude du foyer où se fait la combustion complète de tous les éléments combustibles.

Dans les chaudières à foyers intérieurs, la grille est organisée d'une façon analogue : une chicane en briques sépare encore le foyer en deux parties ; une partie avant où se fait la distillation, une partie arrière où s'opère la combustion proprement dite.

Dans les chaudières multitubulaires, le foyer n'ayant pas de plafond pour y appuyer la voûte chicane, celle-ci est constituée par une voûte inclinée, en une ou plusieurs parties, jouant le même rôle que l'organe analogue des chaudières à bouilleurs ou à foyer intérieur.

45. **Foyers fumivores, système L. Maronnier.** — Dans le système L. Maronnier, la fumivorité est obtenue par un *distributeur d'air* et un *mélangeur des gaz* (fig. 20).

Le *distributeur d'air*, à fermeture automatique, a pour but de permettre l'introduction sur la grille ordinaire, au moment du chargement, d'une quantité d'air supplémentaire destinée à assurer la combustion complète des produits volatils provenant de la distillation du charbon frais placé à l'avant.

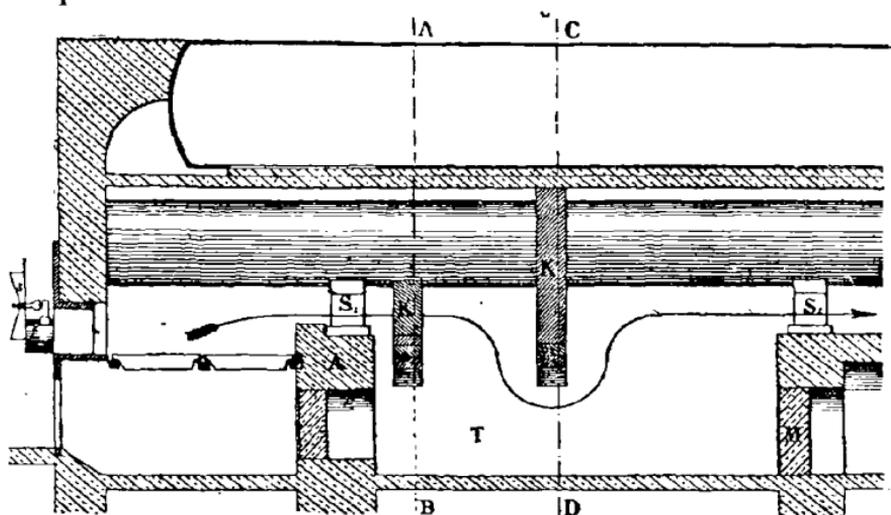


Fig. 28. — Foyer fumivore système Maronnier.

Cet air froid introduit dans le foyer au moment où celui-ci est déjà refroidi par l'introduction du charbon, pourrait provoquer un dégagement de fumées si les gaz, qui contiennent maintenant tous les éléments nécessaires à leur combustion complète, n'étaient convenablement mélangés dans la région la plus chaude du foyer.

Ce brassage est assuré par le *mélangeur des gaz*. C'est

une sorte de chicane en maçonnerie réfractaire placée dans la chambre de combustion, sur le trajet direct des gaz allant à la cheminée ; non seulement elle produit le mélange des produits volatils et de l'air, mais elle constitue par sa masse un volant calorifique qui entretient cette partie du foyer à une température élevée, suffisante pour assurer une combustion complète des produits qui constituent la fumée.

Il est essentiel que la quantité d'air supplémentaire ainsi introduite soit convenablement réglée ; ce réglage incombe au distributeur.

Le distributeur comprend un registre à bascule qui vient s'appliquer sur une ouverture pratiquée dans la porte du foyer.

Ce registre est composé de deux papillons identiques portant, chacun, l'une des deux boîtes à sable d'un sablier.

La vitesse d'écoulement du sablier règle la durée d'ouverture du registre ; elle est réglable, elle-même, par modification de l'orifice d'écoulement placé à la jonction des deux boîtes à sable.

Dès que le chargement est fait, le papillon portant la boîte contenant le sable, qui se trouve devant l'ouverture de la porte, est mis à la place qu'occupe le papillon qui porte la boîte vide, et *vice versa*. Le registre prend une position inclinée dans laquelle le papillon inférieur démasque l'orifice de la porte. Lorsque le sable s'est écoulé de la boîte supérieure dans la boîte inférieure, le registre reprend sa position verticale et ferme cet orifice.

Cet appareil résout le problème de la fumivorité d'une manière rationnelle, il a, entre autres avantages, celui de n'utiliser que le tirage naturel de la cheminée.

46. Le « foyer Idéal » (Compagnie universelle du « Foyer Idéal » à Paris). — Le *foyer Idéal* comporte deux injections d'air, l'une au-dessus de la grille appelée « fumivore Euréka », l'autre au-dessous appelée « aérifère universel ». Elles se font toutes deux au moyen d'injecteurs à vapeur (fig. 21), et elles peuvent se régler séparément suivant le but à remplir.

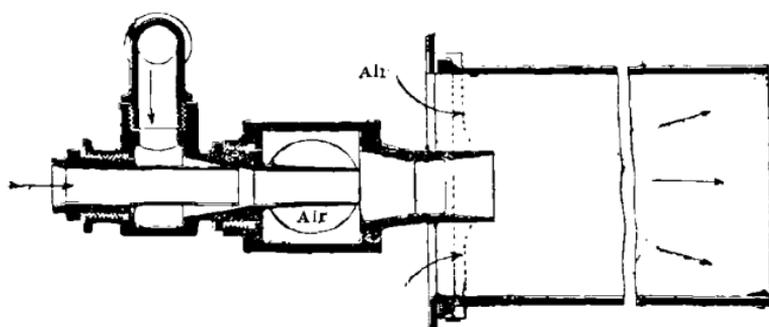


Fig. 21. — Foyer Idéal (éjecteur).

Ces injections d'air ont chacune leur rôle particulier.

Celle qui se fait au-dessus de la grille a pour objet d'assurer la combustion complète des matières volatiles qui se dégagent du charbon pendant la période de distillation, c'est-à-dire peu d'instant après l'introduction de la charge. Elle tend à rendre le foyer fumivore, d'où le nom qui lui a été donné.

L'injection d'air qui se fait au-dessous de la grille a pour but de faciliter la combustion du charbon fixe.

Le foyer Idéal se compose essentiellement de deux rampes : la rampe supérieure correspond au *Fumivore Euréka*, la rampe inférieure à l'*aérifère Universel* (fig. 22).

Chaque rampe comporte une série d'ajutages destinés à l'injection de l'air nécessaire à la combustion : au-dessus du foyer par le fumivore, et au-dessous du foyer, dans le cendrier, par l'aériefère.

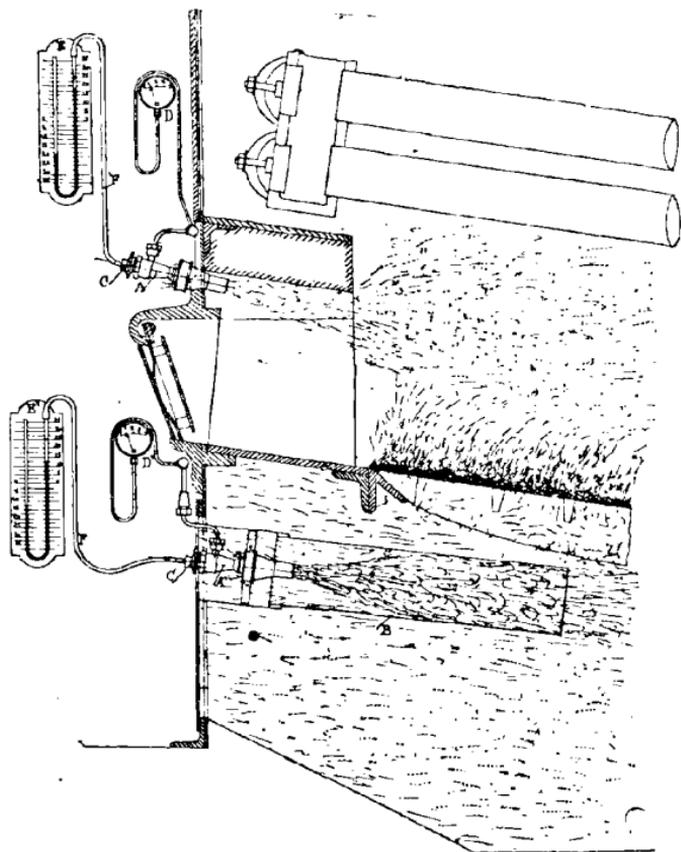


Fig. 22. — Foyer Idéal (fumivore et aériefère).

La forme de chaque ajutage a été étudiée de façon à permettre de régler à volonté, et très facilement, la pro-

portion de vapeur injectée dans le foyer, en vue d'obtenir, dans tous les cas, le meilleur rendement possible.

La vapeur arrive dans chaque ajutage par une couronne annulaire et son débit est réglé, à la fois, par la pression et par l'ouverture plus ou moins grande de la section de passage de cette couronne.

La tuyère centrale par laquelle arrive l'air peut, en effet, se visser et se dévisser à volonté de manière à réduire ou à augmenter la section d'écoulement. Ce premier jet d'air et de vapeur mélangés provoque l'appel d'une nouvelle quantité d'air dans un ajutage placé à la suite et débouchant au-dessus du foyer pour le fumivore, ou dans la buse du cendrier pour l'aérifère.

Le but et le fonctionnement de ces deux appareils sont essentiellement différents :

1° Le fumivore provoque un brassage énergique des gaz combustibles et de l'air ; il permet ainsi de réduire au minimum le poids d'air nécessaire pour effectuer la combustion complète.

L'appareil est mis en marche automatiquement chaque fois que le chauffeur ouvre la porte du foyer pour charger la grille ; il s'arrête de même, grâce à un dispositif très simple, après un temps variable, suivant la nature du combustible employé.

2° La rampe de l'aérifère, disposée dans le cendrier complètement fermé a pour but de créer à l'intérieur du cendrier une surpression constante, réglable à volonté, de manière à pouvoir augmenter ou diminuer la quantité d'air admise au-dessous du foyer suivant la nature et la quantité de combustible brûlé sur la grille.

L'injection d'air par les buses de l'aérifère se fait au

moyen d'un jet de vapeur annulaire concentrique à l'entrée d'air avec lequel elle se mélange intimement.

« Cette vapeur passant à travers le combustible a pour effet de provoquer la gazéification d'une quantité importante de charbon, phénomène qui permet de réduire la quantité d'air admise pour assurer la combustion, et de réaliser, par suite, une économie importante par une réduction notable des pertes dans la cheminée. »

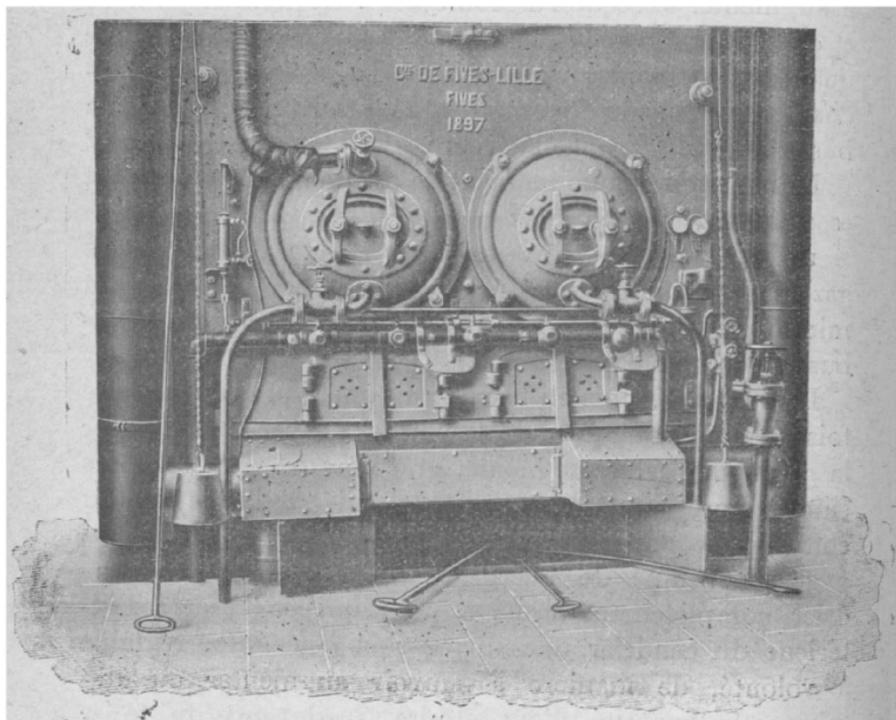


Fig. 13. — Foyer Idéal appliquée à une chaudière semi tubulaire à bouilleurs.

En comparant les rôles respectifs du fumivore et de

l'aérier, on constate que ces deux appareils se complètent mutuellement et concourent à l'obtention d'une combustion parfaite et économique.

La figure 23 représente l'application de ce système à une chaudière semi-tubulaire à bouilleurs.

47. **Grille Kudlicz** (M. Donders, constructeur à Nancy). — Cette grille est organisée de manière à pouvoir brûler tous les combustibles solides, depuis les meilleures houilles en morceaux, jusqu'aux déchets les plus pauvres et les plus menus tels que les poussières de coke et de houille, les escarbilles, le tan, les sciures, etc.

Elle est constituée par des plaques en fonte percées de trous coniques à travers lesquels passe un courant d'air forcé.

Cet air sous pression est fourni par une ou plusieurs caisses à vent placées sous les éléments de la grille de telle sorte que les plaques perforées qui la constituent forment la paroi supérieure de ces caisses.

La pression d'air est entretenue dans ces caisses à vent au moyen d'un injecteur à vapeur qui aspire l'air à l'extérieur et le refoule à l'intérieur; l'injecteur est alimenté par la vapeur de la chaudière.

Le foyer Kudlicz constitue donc un foyer soufflé dans lequel l'air assure la combustion complète du charbon et la vapeur le refroidissement de la grille. L'encrassement est empêché par l'intensité du courant d'air qui traverse les trous, et le refroidissement brusque des tôles, par la pression qui règne toujours à l'intérieur du foyer.

Dans ce genre de foyer, la combustion s'opère comme dans certains gazogènes soufflés et, lorsqu'elle est convenablement réglée, elle ne donne lieu à aucune fumée.

48. Foyers Meldrum. — Le foyer Meldrum se compose d'une grille à barreaux spéciaux, à espacement de 3 millimètres, et d'un souffleur de vapeur de construction et de dispositions spéciales. Le diamètre des jets à leur orifice varie entre 1^{mm},75 et 4 millimètres.

En soufflant l'air à travers la couche de combustible, cet appareil provoque un mélange plus intime de l'oxygène et des gaz dégagés par la combustion ; les hydrocarbures sont brûlés, et la fumée est supprimée.

Les souffleurs sont prévus pour donner toutes les pressions jusqu'à 150 millimètres d'eau. L'activité de la combustion est variable à volonté grâce au tirage forcé que l'appareil permet de réaliser.

Enfin ce foyer peut, grâce à son tirage, brûler des combustibles de qualité inférieure et même des schistes à 60 % de cendres ainsi que les déchets sans valeur commerciale.

Ce genre de foyer trouve son application dans la plupart des cas où le tirage naturel ne permet pas d'obtenir une fumivorté suffisante.

TIRAGE

Le tirage a pour but de produire à travers la grille un appel d'air suffisant pour que la combustion soit complète et que les gaz qui en résultent puissent être expulsés au dehors.

Le tirage peut être naturel ou forcé.

49. Tirage naturel. Cheminées. — Le tirage naturel est produit par la dépression qui s'établit naturellement entre la partie supérieure et la partie inférieure de

la colonne gazeuse contenue dans la cheminée lorsque celle-ci contient des gaz plus chauds et, par suite, moins denses que l'air extérieur.

Le tirage naturel produit par la cheminée, et dû à cette dépression dépend, donc dans une certaine mesure de la hauteur de la cheminée.

Soient H sa hauteur, t la température extérieure, t' la température des gaz chauds de la cheminée.

La colonne de gaz froids extérieurs, correspondant à une hauteur de gaz chauds à t' , est égale à :

$$H \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}$$

La dépression est :

$$\frac{H\alpha(t' - t)}{1 + \alpha t}$$

La vitesse des gaz est donnée par :

$$v = \sqrt{\frac{2gH\alpha(t' - t)}{1 + \alpha t}} \text{ théorique,}$$

$$v = 0,18 \sqrt{\frac{2gH\alpha(t' - t)}{1 + \alpha t}} \text{ pratique.}$$

Le travail dû aux frottements augmente avec la vitesse, et au delà de 20 mètres de hauteur le tirage n'augmente que très peu pour une surélévation des cheminées relativement grande.

Il est indispensable aussi que la vitesse des gaz au sommet soit suffisante pour que ceux-ci puissent sortir malgré le vent.

Cette vitesse minimum, que doivent posséder les gaz à leur sortie, est de 2 mètres par seconde ; la section de la partie supérieure est calculée en conséquence.

Enfin, il est nécessaire que les cheminées soient assez

hautes pour que les fumées ne soient pas gênantes pour le voisinage ; cela conduit à les faire plus hautes qu'il ne serait strictement nécessaire pour assurer un bon fonctionnement aux foyers.

La section d'une cheminée dépend du volume de gaz qu'elle doit évacuer. Elle pourrait se calculer en se basant sur les résultats suivants :

Pour brûler 1 kilogramme de houille il faut 15 mètres cubes d'air environ, pratiquement on compte 25 mètres cubes à la température ordinaire, 30 mètres cubes à 250°.

Si P est le poids de houille à brûler par heure on aura :

$$P \times 30 = 3600 S \times v$$

d'où :

$$S = \frac{P \times 30}{3600 v}$$

v étant la vitesse en mètres par seconde dans la section considérée, S est la section en mètres carrés.

Les constructeurs emploient souvent la formule empirique

suivante : $S = \frac{P}{300}$ dans laquelle P est le poids, en kilogramme, de houille à brûler par heure.

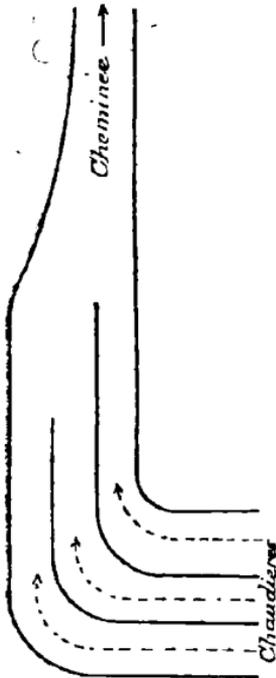
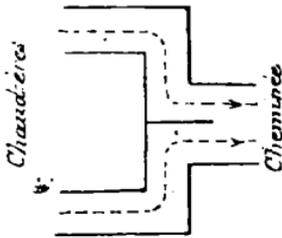


Fig. 34. — Gains de fumée.



Lorsque plusieurs foyers débitent dans un même carneau, il est nécessaire que les gaines de fumée soient organisées de manière que le tirage ne soit pas entravé (fig. 24).

Les cheminées se construisent en briques, en tôle avec revêtement intérieur de quelques mètres en briques ; enfin, depuis quelques années, en ciment armé.

50. **Tirage forcé.** — Il peut se faire par ventilateurs ou par entraînement au moyen d'un jet de vapeur d'air comprimé.

Tirage forcé par ventilateurs. — En général, ce mode de tirage forcé est organisé de manière que le ventilateur aspire dans les carnaux et refoule dans la cheminée. On l'appelle alors *tirage induit*, ou encore tirage aspiré.

Quelquefois le tirage se fait par entraînement et dans ce cas le ventilateur refoule de l'air dans une tuyère placée dans la cheminée (*Tirage système Prat*).

Ce mode de tirage est un cas particulier de celui qui emploie le jet de vapeur ou d'air comprimé.

Dans les *locomotives*, le tirage est obtenu par l'entraînement produit au moyen du jet de vapeur d'échappement qui sort des cylindres.

La dépression que produit ce jet est à peu près proportionnelle à la pression effective de la vapeur dans le tuyau d'échappement ; le volume d'air aspiré par seconde à travers la grille est sensiblement proportionnel à la racine carrée de cette dépression.

Dans les *chaudières de torpilleurs*, le tirage est augmenté en envoyant de l'air comprimé, à la pression de 20 millimètres d'eau environ, dans la chambre de combustion qui, dans ce cas, est hermétiquement close.

51. Tirage mécanique des foyers par aspiration, système Prat. — Dans le tirage naturel d'une cheminée, la dépression est due à ce que les gaz de la cheminée sont plus chauds que l'air extérieur.

Ce tirage entraîne, par suite, une perte de calories; celle qui correspond à l'échauffement, jusque vers 300°, des gaz qui traversent la cheminée.

Si on admet que la combustion de 1 kilogramme de charbon fournit 16 mètres cubes de gaz et que la chaleur spécifique et la densité moyenne de ces gaz sont voisines de celles de l'air, on trouve que le tirage de la cheminée entraîne une perte de 1200 à 1400 calories par kilogramme de charbon brûlé sur la grille.

Le tirage système *Prat* (fig. 25) réduit cette perte en substituant au tirage naturel un tirage artificiel basé, sur l'entraînement des fumées par un courant d'air sous pression.

Un ventilateur placé en dehors du circuit des gaz envoie un courant d'air sous pression dans un appareil spécial désigné sous le nom de *transformateur de pression*. Un éjecteur à vapeur de secours produit le même effet que le ventilateur lorsque celui-ci s'arrête.

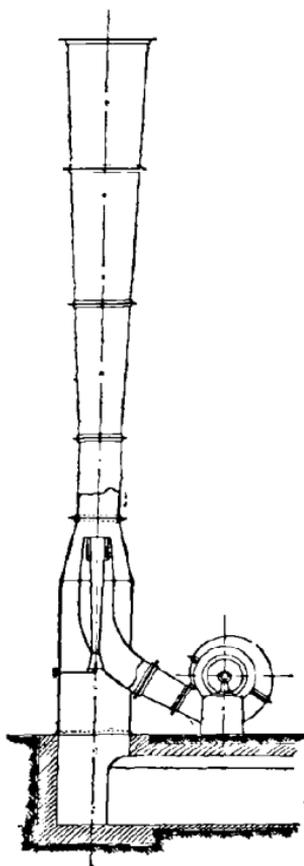


Fig. 25.
Tirage système Prat.

C'est l'écoulement de cet air qui produit un courant d'entraînement des gaz de la combustion.

Ce transformateur peut être placé soit dans l'intérieur d'une cheminée pour en accroître le tirage, soit directement sur le carneau principal, où se réunissent les gaz de la combustion, en faisant alors lui-même office de cheminée.

Ce mode de tirage doit, en outre, avoir pour effet de rendre le foyer fumivore ; il doit, par suite, faire varier automatiquement la dépression et, par conséquent, le volume d'air aspiré suivant les besoins de la combustion.

Si la résistance opposée au passage de l'air à travers la grille augmente, ce qui arrive lorsqu'on charge le foyer ou lorsque des encrassements se produisent, il faut, pour éviter les fumées, que la dépression varie comme cette résistance, c'est-à-dire en raison inverse du volume d'air appelé. Cela revient à dire que le volume d'air et la dépression doivent avoir des variations de sens inverse, ou que le produit, qui représente le travail correspondant à l'aspiration, est constant.

Si on considère le volume aspiré par seconde sous la dépression qui lui correspond, dans un régime de marche supposé régulier, on est amené à envisager la puissance nécessaire à l'aspiration, c'est-à-dire aussi la puissance du ventilateur (si on néglige toutes les pertes) et à conclure qu'elle doit être constante.

Le ventilateur travaille à puissance et à ouverture constantes ; il refoule l'air dans un transformateur de pression qui est un diffuseur pour le ventilateur, et un réservoir d'air sous pression pour l'ajutage se terminant dans la gaine de fumée.

Si le volume d'air appelé vient à diminuer, par suite d'un chargement de la grille par exemple, il tend à se former de la fumée, mais la dépression produite par l'air sortant de l'ajutage tend à augmenter et à appeler une plus grande quantité d'air, c'est-à-dire à s'opposer à la formation de ces fumées en brûlant complètement les carbures qui les constituent.

Le dispositif donnera une fumivorté d'autant plus complète que le transformateur de pression utilisera mieux, c'est-à-dire avec le moins de pertes possible, le fluide pulseur, et en outre, qu'il assurera d'une façon plus parfaite le libre écoulement des gaz appelés.

Pour réaliser ces deux conditions, le transformateur de pression est composé de trois organes essentiels :

1° Une ouïe inférieure formant embase et destinée à faciliter l'introduction du fluide appelé dans l'intérieur de l'appareil ;

2° Une chambre de diffusion de l'air injecté d'une longueur suffisante pour que la diffusion soit complète, résultat qui s'obtient en lui donnant une longueur égale à trois à quatre fois son diamètre ;

3° Un ajutage divergent, dont la hauteur est égale à environ sept fois son petit diamètre.

L'embase elle-même comprend : une cloche inférieure dirigeant les gaz appelés dans la chambre de détente ; une deuxième cloche formant ajutage convergent fixée à la partie supérieure de l'embase et superposée à la première, de manière à laisser entre elles un intervalle annulaire pour l'écoulement de l'air injecté ; enfin, une enveloppe entourant les deux cônes précédents en communication avec le générateur d'air injecté et dont la partie inférieure porte la cornière d'attache avec la maçonnerie.

Il est à remarquer que l'injection de l'air est annulaire, mais il est parfois commode d'employer une injection centrale. Dans l'un et l'autre cas, le transformateur ne comporte aucun appareil de réglage de ses divers organes, ceux-ci sont calculés et disposés de façon à obtenir la meilleure utilisation possible de l'air injecté, ainsi qu'une réduction au minimum de tous les frottements intérieurs et des remous.

Un papillon, placé dans la gaine qui réunit le ventilateur au transformateur de pression, permet de faire varier le tirage. Ce papillon peut être actionné à distance par le chauffeur.

On peut aussi régler la dépression en faisant varier la vitesse du ventilateur.

Le dispositif de tirage ci-dessus décrit peut s'appliquer, comme la cheminée qu'il remplace, à plusieurs chaudières.

Les conditions de tirage qui se rapportent à la batterie entière ne sont pas les mêmes que celles qu'il convient d'appliquer à une chaudière fonctionnant isolément.

Dans ce dernier cas, le réglage se fait en agissant sur la vitesse du ventilateur. Celui-ci peut même être arrêté lorsque la gaine de l'appareil est suffisante pour assurer un tirage naturel convenable au générateur en fonctionnement.

En résumé, l'intérêt du système consiste dans l'économie de combustible à laquelle il donne lieu, et qui se traduit par un coefficient de vaporisation supérieur de (8 à 10 % environ) à celui que l'on obtient avec le tirage naturel, son intérêt résulte aussi de la fumivorité qu'il donne aux foyers qui l'emploient.

Enfin, au point de vue des frais d'établissement, ce

système de tirage permet de remplacer une cheminée, par un ventilateur et un transformateur de pression de hauteur réduite, dont l'installation est beaucoup moins coûteuse que celle de la cheminée qu'il remplace. Ainsi, par exemple, un groupe de chaudières, d'une puissance de 1 200 chevaux, pour lequel une cheminée de 45 mètres de hauteur était nécessaire, a pu être desservi, dans des conditions de tirage comparables, avec un transformateur de pression de 15 mètres seulement.

CHAPITRE III

LA VAPORISATION DANS LES CHAUDIÈRES ¹

52. **Généralités sur la vaporisation.** — Le foyer émet de la chaleur rayonnante qui agit sur les surfaces directes de chauffe, il donne aussi des gaz chauds qui agissent par convection sur les surfaces de chauffe indirectes, sur les réchauffeurs d'eau d'alimentation et sur les surchauffeurs lorsqu'ils existent.

La répartition de la chaleur cédée en une seconde par le foyer entre les surfaces directes et indirectes de chauffe se fait approximativement suivant une loi assez peu précise.

Les quantités de chaleur cédées par les flammes ou le charbon incandescent aux tôles et par celles-ci à l'eau dépend de certains éléments, sur l'importance desquels on n'est pas bien exactement fixé, mais dont on connaît cependant l'intérêt au point de vue de la transmission de chaleur du foyer de la chaudière à l'eau qu'elle renferme.

Cet échange de chaleur se fait d'autant mieux et, par suite, la vaporisation est d'autant meilleure que :

1° *Les surfaces sont plus propres.*

Il est essentiel, en effet, pour obtenir une bonne vaporisation, que les surfaces exposées au feu soient exemptes de suie ; il est indispensable aussi que les surfaces en contact avec l'eau ne soient pas couvertes de tartre ou de graisse.

¹ Voir E. JOUGUET. E. S. *Moteurs thermiques* p. 140.

2° *La conductibilité du métal de la chaudière est plus grande.*

Il y aurait avantage à ce point de vue à employer le cuivre de préférence à l'acier doux dans la construction des chaudières ; mais, ce métal est très coûteux et on ne l'emploie dans la construction des chaudières de locomotives qu'en raison des difficultés parfois insurmontables que l'on rencontre lorsqu'on essaye de faire en tôles d'acier, une pièce aussi contournée qu'un foyer de locomotive.

Les essais tentés dans ce but ont du reste échoué jusqu'ici et on emploie presque exclusivement le cuivre pour la confection des foyers des chaudières de locomotives, l'acier doux étant employé dans tous les autres cas pour la construction des chaudières.

3° *La vitesse des gaz chauds est plus grande et qu'ils frappent plus normalement les tôles.*

Il résulterait en effet, d'expériences récentes faites par le professeur Nicholson qu'il y aurait les plus grands avantages au point de vue de la transmission de la chaleur aux tôles à substituer le mode de transmission par convection au mode par conduction en donnant aux gaz une vitesse égale à vingt ou trente fois la vitesse actuelle. Le même résultat pourrait être obtenu par le brassage énergique des gaz ¹.

Les gaz sortiraient beaucoup plus froids du foyer et une grande partie des calories qui partent par la cheminée seraient ainsi utilisées en faveur de la vaporisation.

4° *La différence de température entre le foyer et l'eau est plus grande.*

Il y a avantage, par suite, au point de vue de la vapo-

¹ H. VIGNERON. *La Technique moderne.*

risation, à amener l'eau en contact avec les parties chaudes de la tôle en organisant la circulation de l'eau dans la chaudière.

Cette circulation peut résulter de la construction, et la plupart des chaudières multitubulaires à tubes d'eau sont organisées pour qu'il en soit ainsi.

Elle peut être favorisée aussi par l'adoption de dispositifs *fonctionnant par la vaporisation elle-même.*

C'est le cas des émulseurs, de l'émulseur Dubiau, par exemple.

Le fonctionnement de cet appareil (fig. 26) se comprend de lui-même : une pression supérieure à celle du corps tend toujours à prendre naissance au sommet de la cloche intérieure et à provoquer le mou-

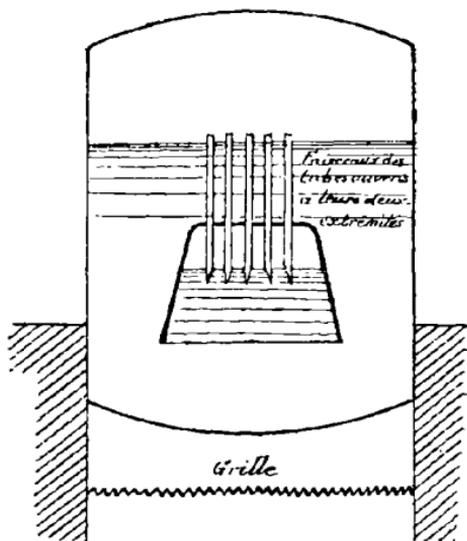


Fig. 26. — Emulseur Dubiau.

vement ascendant de l'eau à travers le faisceau de tubes.

Elle peut être *provoquée par des moyens artificiels* ; c'est le cas de l'*hydrokineter* ou injecteur prenant l'eau dans une partie pour l'injecter dans une autre partie de la chaudière.

La vaporisation est, en outre, d'autant meilleure que le dégagement des bulles de vapeur est moins gêné.

Il faut donc *éviter les étranglements*, les chicanes qui pourraient entraver le dégagement de la vapeur.

Enfin, il faut que la surface d'évaporation soit aussi étendue que possible.

L'examen de la façon dont ces diverses conditions sont remplies dans les divers types de chaudières permet de les apprécier au point de vue de la vaporisation et par suite de leurs aptitudes à assurer tel ou tel service.



CHAPITRE IV

LA CIRCULATION DANS LES CHAUDIÈRES

53. **Généralités sur la circulation.** — Par « Circulation dans les chaudières » on entend l'établissement d'un courant d'eau énergique venant balayer les surfaces de chauffe, ce courant d'eau n'étant obtenu que par une construction appropriée de la chaudière et un chauffage convenable de ses diverses parties.

Cette circulation est d'autant meilleure que le volume d'eau passant par seconde sur les surfaces de chauffe est plus considérable.

De nombreuses expériences ont montré que le volume d'eau mis en mouvement dans ces conditions atteignait très rapidement un maximum : lorsque la vitesse est trop grande, en effet, ce qui correspond au cas où il y a trop de vapeur dans le mélange, la proportion d'eau léchant les surfaces de chauffe va en diminuant, l'échange de chaleur se fait mal, car la vapeur est encore moins conductrice que l'eau, et la vaporisation se produit dans des conditions défectueuses.

On n'a tiré jusqu'ici, ni de l'expérience ni du calcul, aucune conclusion précise en ce qui concerne le débit de circulation correspondant à une chaudière de dispositions et de dimensions données, fonctionnant dans des conditions de régime déterminées ; mais, tous les expérimentateurs sont d'accord pour admettre que la circulation dans les éléments de chaudières comprenant des tubes vaporisateurs et des collecteurs en communication

avec le corps est due à une dépression qui se produit à la base de la colonne d'eau dans laquelle se dégagent les bulles.

Le désaccord existe entre eux en ce qui concerne la cause de cette dépression et la manière dont elle se produit.

M. Babcock l'a attribué à une différence de densité des colonnes d'eau qui composent un élément.

Il étend son hypothèse « qui est exacte lorsqu'il n'y a pas production de vapeur »¹ au cas du mélange d'eau et de vapeur, en assimilant ce mélange à un mucilage qui se comporte à ce point de vue

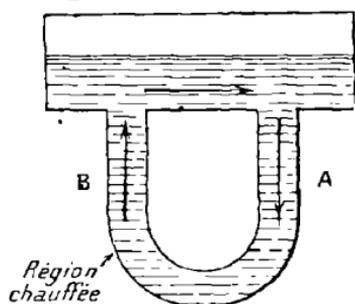


Fig. 27. — Circuit de circulation.

comme une colonne d'eau ou comme une colonne de vapeur (fig. 27).

Pour qu'il puisse se produire dans le bas de la colonne B une dépression correspondant à celle qui donnerait une différence de densité réelle, il faut :

1° Que les bulles de vapeur n'aient pas de vitesse par rapport à l'eau dans laquelle elles se meuvent ;

2° Que le mouvement d'ascension soit uniforme. Ces deux conditions sont à peu près remplies dans le cas où l'ascension se fait dans des tubes assez étroits pour que les bulles occupent toute la section du tube ; alors seulement la pression qui s'exerce par la colonne de bulles est égale à celle que donnerait une même colonne d'un fluide ayant comme densité le poids spécifique moyen du mélange.

M. Babcock a généralisé ses déductions et les a appli-

¹ BELLENS. *La Mécanique à l'Exposition de 1900.*

quées au cas de circuits complexes (fig. 28). Sa conclusion est la suivante : Le maximum de circulation a lieu lorsque les volumes d'eau et de vapeur existant dans le tube ascendant sont égaux.

M. Brillié a étudié la circulation dans les chaudières à petits tubes vaporisateurs.

On peut, dans ce cas, s'appuyer sur la théorie des densités moyennes différentes, parce que les bulles occupent tout le tube vaporisateur.

L'eau du retour d'eau et la vapeur sont animées de la même vitesse.

Les conclusions de *M. Brillié* sont les suivantes :

Pour assurer une bonne circulation il faut :

1° Donner aux chaudières à très petits tubes une grande hauteur ;

2° Employer des tubes relativement gros, inclinés sur l'horizontale, à partir d'une certaine hauteur au-dessus des collecteurs inférieurs ;

3° Raccorder ces tubes inclinés aux parties verticales par des courbes à grand rayon, et ménager des retours d'eau ayant une section égale à la section totale des tubes vaporisateurs.

M. Walckenaer admet qu'une bulle s'élevant dans un liquide ne peut passer d'une position *M* à une position supérieure *M'* sans qu'un volume d'eau égal descende de

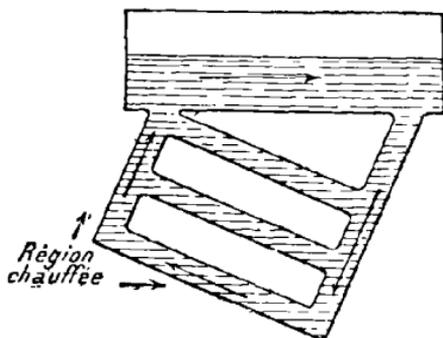


Fig. 28. — Circuit de circulation.

M' en M. Il y a donc chute d'un volume d'eau égal au volume de la bulle et, comme les chemins parcourus verticalement par l'eau et la vapeur sont égaux, il y a travail positif de la pesanteur. C'est ce travail qui doit subvenir à la dépense d'énergie des divers mouvements qui se produisent dans le système, y compris les remous du liquide.

Si les bulles sont petites, le mouvement de retour se fait en court circuit ; il n'y a pas de circulation.

Lorsque de grosses bulles occupent tout le tube, la circulation se produit par chute d'eau dans le tube de retour.

M. Bellens tire de l'expérience les conclusions suivantes :

Les bulles suivent une trajectoire hélicoïdale.

Leur vitesse absolue est d'autant plus grande qu'elles sont plus petites.

La vitesse de circulation est d'autant plus grande que les tubes sont plus gros.

C'est la chute de l'eau autour de la bulle, cause de la vitesse relative de la bulle par rapport à l'eau, qui constitue un phénomène d'écoulement auquel correspond une diminution de charge statique.

Cette diminution de charge est celle qui produit la dépression, origine du mouvement de circulation.

La conclusion de ces études est la suivante :

Pour être assuré de provoquer une circulation d'eau importante régulière et déterminée *a priori* avec certitude, il faut renoncer à la simple circulation naturelle sur les surfaces de chauffe des chaudières multitubulaires et rechercher les moyens de provoquer et d'entretenir une circulation d'eau artificielle en mettant l'agent de circulation entièrement à l'abri des influences thermiques antérieures (*La Mécanique à l'Exposition de 1900*, M. Bellens).

CHAPITRE V

CLASSIFICATION DES CHAUDIÈRES

54. **Classification générale.** — Les chaudières peuvent être rangées dans trois catégories principales.

I. *Les chaudières à grands corps.*

II. *Les chaudières à tubes de fumée.* — Les tubes sont baignés par l'eau, à l'extérieur, et parcourus intérieurement par les gaz de la combustion.

Cette catégorie comprend les types semi-tubulaires et multitubulaires.

III. *Les chaudières à tubes d'eau.* — Les tubes contiennent l'eau à l'intérieur et sont léchés extérieurement par les gaz.

On peut les subdiviser en deux catégories :

Les chaudières à gros tubes d'eau qui comprennent :

1° Les chaudières multitubulaires à circuit composé simple ;

(à tubes d'eau : Babcock et Wilcox, Roser, etc...
à lames d'eau : Buttner, Steinmuller, Mathot, Lagrafel et d'Allest, etc.),

2° Les chaudières à plans d'eau multiples et à circulation indépendante ;

(chaudière Van Oosterwyck).

3° Les chaudières multitubulaires à circuit composé simple et retour intérieur aux tubes vaporisateurs ;

(chaudières Niclausse, Durr, etc.).

4° Les chaudières à serpentín ;
(chaudière Belleville).

Les chaudières à petits tubes d'eau.

Elles comprennent :

1° Les chaudières multitubulaires à tube débouchant dans le corps supérieur ;

(chaudières Yarrow, Thornycroft, Normand, Du-Temple, etc.).

2° Les chaudières à tubes de retour d'eau ;
(chaudières Field, Montupet, etc.).

3° Les chaudières à serpentín ;
(chaudières Hérissón, Climax, etc.).

IV. *Chaudières mixtes.* — Enfin, les chaudières qui comportent à la fois des tubes d'eau et des tubes de fumée, ou sont composées d'éléments ne rentrant pas dans les types ci dessus spécifiés, sont rangées dans cette catégorie.

V. *Chaudières sans foyer.* — Les chaudières sans foyer qui sont plutôt des réservoirs d'eau chaude que de véritables chaudières, forment une 5° catégorie.

VI. *Chaudières à basse pression.* — Accumulateur régénérateur de M. Rateau.

CHAPITRE VI

CHAUDIÈRES A GRANDS CORPS

55. **Généralités. Chaudières Cornouailles. Lancashire. Galloway.** — Cette catégorie comprend les chaudières à bouilleurs, très employées autrefois dans les installations fixes. La chaudière dite *française* est le type de ce genre de générateur.

Elles ont un grand volume d'eau pour une surface directe de chauffe peu importante.

Leur puissance de vaporisation spécifique de 10 kilogrammes par mètre carré est faible comparée à celle que l'on obtient avec les chaudières multitubulaires actuelles. Aussi, on ne les construit plus guère, du moins sous leur forme primitive. Le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de chauffe à la surface de grille est égal à 10 environ.

La vaporisation des chaudières à bouilleurs peut être améliorée par l'installation d'organes favorisant la circulation. Ces organes peuvent être des émulseurs; ils sont placés dans les cuissards de la chaudière et ils activent la circulation.

Les chaudières à grands corps peuvent être à un ou plusieurs foyers intérieurs.

La chaudière dite *de Cornouailles* est à un seul foyer intérieur.

La chaudière *de Lancashire* comporte deux foyers intérieurs.

La surface de chauffe de ces chaudières peut être aug-

mentée par l'installation de tubes traversant le foyer et réunissant la partie supérieure de la chaudière à sa partie

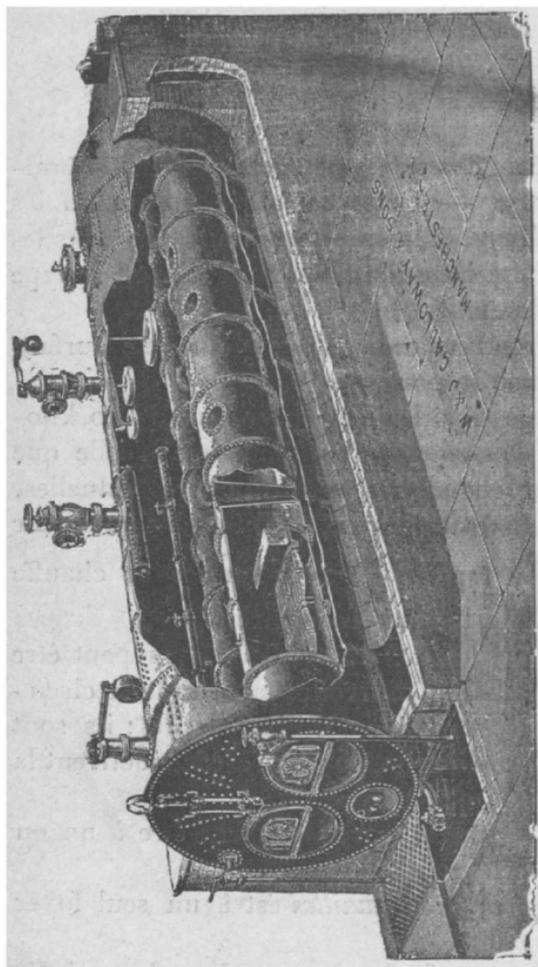


Fig. 29. — Chaudière Lancashire.

inférieure.

Les tubes Galloway sont dans ce cas.

Les chaudières Galloway ont, en outre, une bonne circulation favorisée par la présence de ces tubes; leur puissance de vaporisation spécifique est supérieure à celle d'une chaudière à foyer intérieur ordinaire. Elle atteint 30 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de chauffe à la surface de grille est relativement faible, il est de 20 environ.

Ces chaudières sont de construction et d'entretien faciles. Les tubes Galloway sont tous fabriqués sur le même modèle, ce qui rend la construction de ce type de chaudière aussi facile que celle d'une chaudière à grand corps quelconque.

On construit des chaudières à grands corps à trois foyers pour installations fixes, mais ce genre de chaudières ne se rencontre guère qu'à bord des bateaux de commerce.

Ces chaudières ont l'inconvénient d'exiger un temps assez long pour leur mise en pression ; mais, par contre, elles ont l'avantage de faire *volant de pression* par le grand volume d'eau qu'elles renferment.

Elles conviennent bien, par suite, à la commande de machines qui exigent par intermittences des quantités de vapeur relativement considérables.

Les marteaux pilons à vapeur sont dans ce cas.

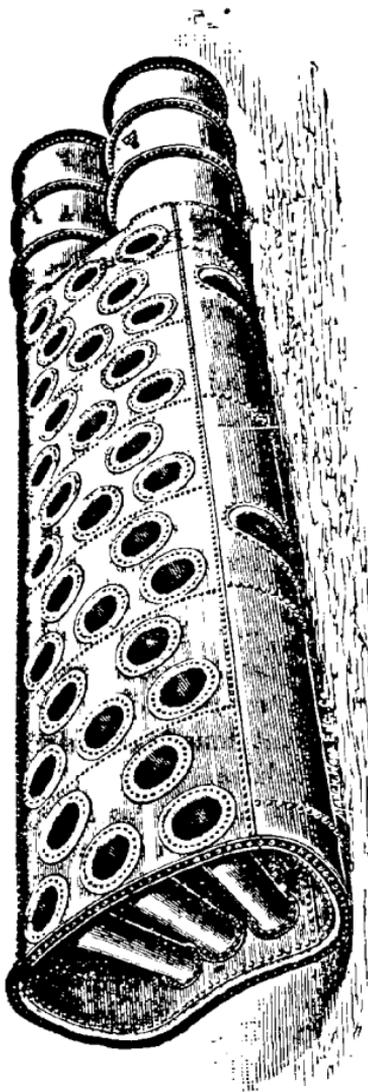


Fig. 30. — Chambre ovale de chaudière Galloway.

CHAPITRE VII

CHAUDIÈRES A TUBES DE FUMÉE

56. **Généralités.** — Cette catégorie de chaudières comprend deux types principaux :

Le type semi-tubulaire à foyer extérieur ou intérieur ;

Le type multitubulaire à foyer intérieur.

La chaudière semi-tubulaire à foyer extérieur est formée de deux bouilleurs placés au-dessus de la grille, surmontés d'un corps tubulaire cylindrique, les deux bouilleurs étant réunis au corps tubulaire par des cuisards.

Les flammes lèchent les bouilleurs, qui constituent les surfaces directes de chauffe, puis elles reviennent vers l'avant en traversant les tubes de fumée du corps ; enfin, elles passent dans la cheminée en longeant la surface du corps tubulaire.

Toute la surface des tubes et une grande partie de la surface extérieure du corps constituent la surface indirecte de chauffe. Elle est relativement grande pour l'encombrement de la chaudière, aussi ce type de générateur est-il très employé.

La chaudière semi-tubulaire à foyer intérieur affecte deux dispositions particulières suivant que les tubes sont placés dans le prolongement du foyer ou sont disposés en retour parallèlement au foyer.

Les deux genres sont très employés. Celui dans lequel les tubes sont dans le prolongement du foyer s'emploie pour les chaudières de grandes dimensions, pour celles qui brûlent les gaz du haut fourneau notamment.

Dans la disposition avec tubes de fumée en retour qui rappelle celle de la chaudière Thomas et Laurens, on peut constituer un ensemble amovible en réunissant les tubes de fumée et le foyer, à l'avant et à l'arrière, au moyen de plaques tubulaires.

Ces chaudières à « vaporisateur amovible » sont très employées dans les ensembles semi-fixes ou dans les locomobiles (Chaudière Weyher et Richmond, fig. 31).

La puissance de vaporisation spécifique de ces chaudières est assez élevée, 10 à 15 kilogrammes par mètre carré et par heure; le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille est généralement compris entre 40 et 60 pour une activité de combustion de 70 kilogrammes par mètre carré de surface de grille et un tirage de 3 à 5 millimètres d'eau.

Aux types de chaudières à foyers intérieurs on peut rattacher la chaudière marine, cylindrique, à foyers intérieurs avec tubes en retour dite *chaudière écossaise*.

Elle se construit pour des pressions élevées même lorsqu'elle atteint de grandes dimensions.

Elle comporte généralement trois foyers, parfois quatre; ces foyers débouchent dans une chambre de combustion ou boîte à feu d'où partent les tubes de fumée en retour qui aboutissent à une boîte de fumée rapportée contre la façade.

La puissance de vaporisation spécifique de ces chaudières peut atteindre 20 kilogrammes par mètre carré

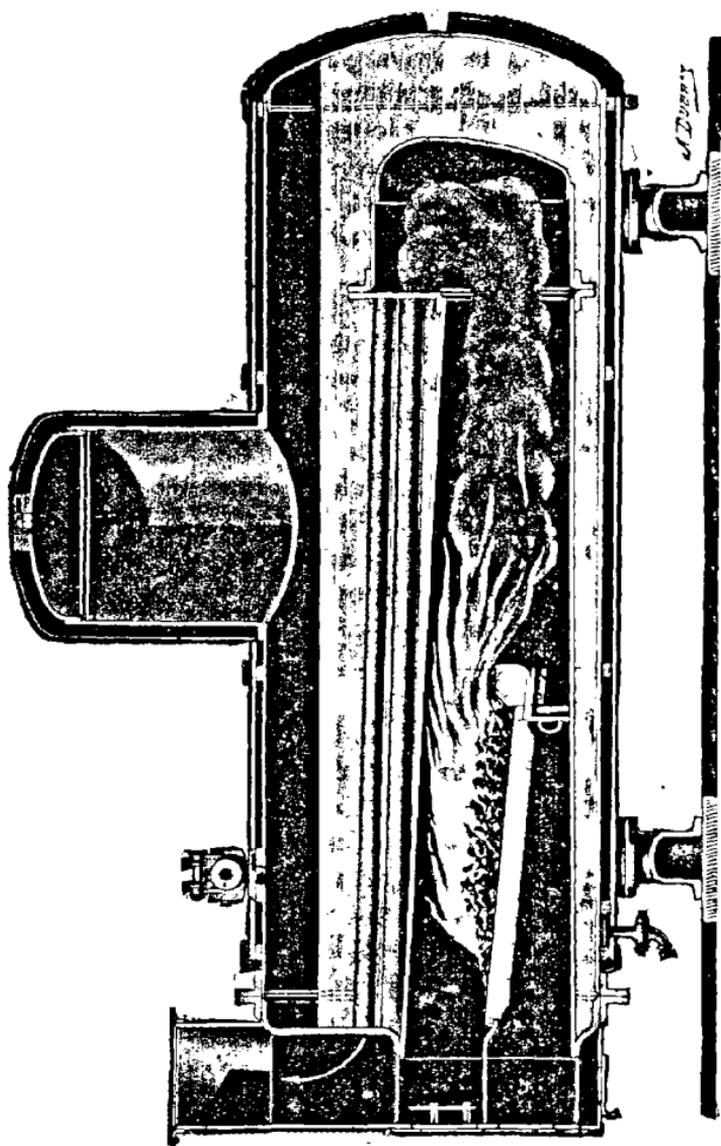


Fig. 31 — Locomobile Weyher et Richmond.

pour une activité de combustion de 80 kilogrammes par mètre carré de surface de grille.

Le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de chauffe à la surface de grille atteint 60.

Le type de chaudière multitubulaire est analogue au semi-tubulaire à foyer intérieur à tubes de fumée disposés dans le prolongement du foyer, seulement le foyer ne comporte pas, en général, de chambre de combustion. La chaudière *type locomotive*¹ appartient à cette catégorie.

Dans la chaudière « type locomotive » il est nécessaire de protéger la plaque tubulaire d'entrée contre la violence du jet de flammes. Cette protection est assurée par une voûte en maçonnerie réfractaire appelée « voûte courte » ou encore par un bouilleur spécial, le bouilleur Tenbrinck, jouant le rôle d'écran.

Pour éviter une fatigue anormale de certaines parties du foyer on répartit les flammes dans la boîte à feu au moyen d'un « déflecteur » qui dirige le courant d'air de la porte contre la voûte courte.

Ces chaudières ont une puissance de vaporisation spécifique relativement grande, due non seulement à la disposition du foyer, et au tirage forcé, mais aussi à la nature du métal qui forme le foyer et les tubes.

Les tubes étaient autrefois en laiton, mais ce métal devient cassant à la longue, et on les fabrique maintenant en acier extra-doux. Pour augmenter la surface de contact du tube avec les flammes, on les munit parfois d'ailettes intérieures. Les tubes Serve sont dans ce cas.

¹ NADAL. *Locomotives*. E. S.

Des essais ont été faits en vue de remplacer la chaudière de locomotive actuelle par une chaudière à petits tubes d'eau analogue aux chaudières de torpilleurs.

Cette adoption aurait un très grand intérêt, car les chaudières à petits tubes ont sur les chaudières type locomotive l'avantage d'être mises plus rapidement en pression et, en outre, d'avoir une puissance de vaporisation spécifique plus élevée.

La mise en pression d'une chaudière à petits tubes n'exige qu'une demi-heure, tandis que la même opération exige deux heures dans le cas des chaudières de locomotive.

La puissance de vaporisation spécifique des chaudières à petits tubes est supérieure de 30 % à celle des chaudières type locomotive, 30 kilogrammes par mètre carré au lieu de 20 kilogrammes par mètre carré.

Dans les chaudières type locomotive le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de chauffe à la surface de grille est égal à 60 environ.

Les chaudières à tubes de fumée semi-tubulaires ou multitubulaires sont des générateurs robustes faciles à conduire et à entretenir. Elles ont sur les chaudières à grands corps l'avantage de fournir un plus grand poids de vapeur pour le même volume et, par conséquent, pour le même encombrement.

Elles doivent ces qualités à la grande surface de chauffe que donnent les tubes de fumée.

Cependant la présence de ces tubes entraîne quelques inconvénients :

Ils gênent la circulation, et la mise en pression des chaudières qui les utilisent est relativement longue.

Leur détartrage est difficile, sauf dans les types où le faisceau tubulaire est démontable, et il est recommandable d'alimenter ce genre de chaudières avec des eaux peu calcaires ou préalablement épurées.

Pour faciliter le nettoyage des tubes on a l'habitude de remplacer un certain nombre de tubes ordinaires par des tubes démontables appelés tubes Bérendorf placés à l'aplomb du dôme de vapeur ou des trous d'homme. Le démontage de ces tubes laisse un vide par lequel l'ouvrier peut s'introduire dans le corps tubulaire pour brosser et détartrer les tubes non démontables.

Ce genre de chaudières est très répandu dans l'Industrie où il s'emploie généralement dans les types fixes ou semi-fixes.

Leur puissance de vaporisation spécifique est supérieure à 10 kilogrammes par mètre carré, mais voisine de ce chiffre pour un grand nombre de chaudières fixes. Comme, d'autre part, bon nombre de machines à pistons consomment 10 kilogrammes de vapeur saturée par cheval-heure, on est amené à conclure qu'il faut prévoir une chaudière semi-tubulaire à tubes de fumée de n mètres carrés de surface de chauffe pour alimenter une machine de n chevaux, et on arrive à la règle mnémonique simple suivante :

Un cheval : un mètre carré de surface de chauffe.

Partant de ce résultat et en tenant compte de ceux qui ont été indiqués ci-dessus, on déterminera très rapidement les données principales d'une installation.

Application. — Si, par exemple, on veut installer une force motrice de 1 000 chevaux en utilisant des chaudières fixes à tubes de fumée, il y aura lieu de prévoir :

1° Des chaudières ayant une surface de chauffe totale de 1 000 mètres carrés, soit une chaudière de 1 000 mètres carrés, soit 2 chaudières de 500 mètres carrés ;

et d'admettre que :

2° La surface totale de grille sera environ de $\frac{1\,000}{40} = 25$ mètres carrés.

3° Le poids de charbon consommé par heure sera de $60 \times 25 = 1\,500$ kilogrammes à $70 \times 25 = 1\,750$ kilogrammes au maximum.

4° Le poids de scories à évacuer par heure sera de 150 kilogrammes à 200 kilogrammes.

57. Générateur à foyer amovible concentrique avec retour de flamme dans les tubes et dilatation libre. Système Weyher et Richemond (Société des anciens établissements Weyher et Richemond, à Pantin).

— Ce générateur, qui est du type semi-tubulaire à foyer intérieur, se compose de deux parties principales (fig. 32) :

1° Le vaporisateur, comprenant le foyer intérieur, le retour de flamme et le faisceau de tubes compris entre les plaques tubulaires d'avant et d'arrière ;

2° La calandre, formée de deux cylindres superposés : le cylindre inférieur contient le vaporisateur entouré d'eau, et le cylindre supérieur sert de grand réservoir de vapeur, et d'eau prête à se vaporiser. Le cylindre inférieur et le vaporisateur sont réunis par un joint à brides, boulons et rondelles de caoutchouc. Les gaz produits par la combustion ne s'échappent dans les carneaux qu'après avoir passé par le retour de flammes, par le faisceau de tubes, et par la vaste chambre en maçonnerie qui entoure le générateur.

Le générateur se trouve ainsi complètement enveloppé par les gaz avant leur passage dans la cheminée.

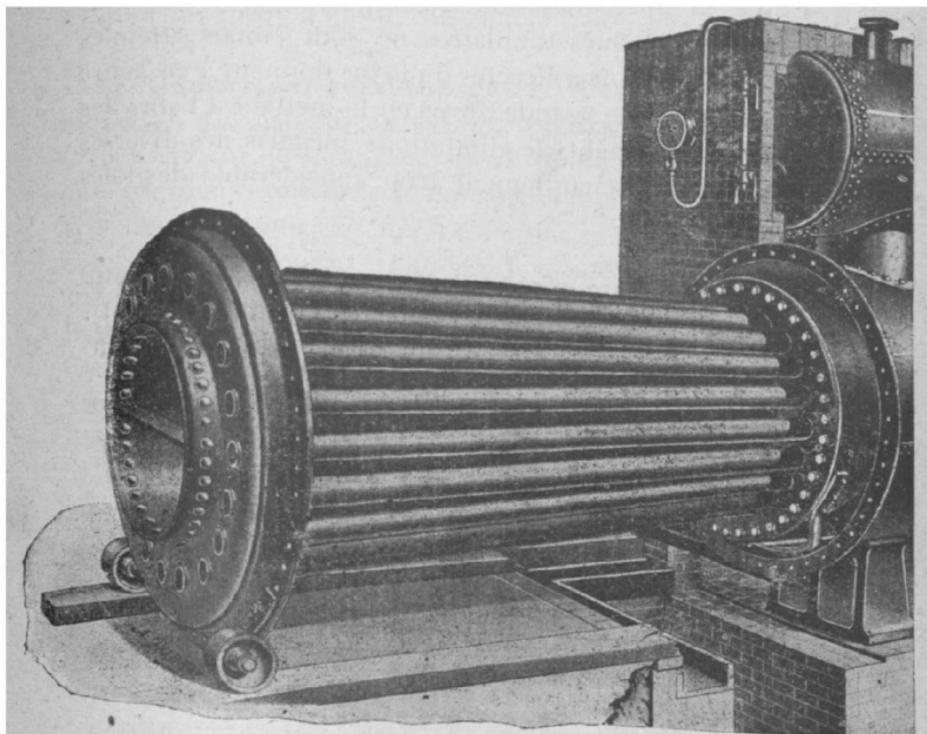


Fig. 32. — Chaudière à tubes concentriques au foyer, système Weyher et Richmond.

Le brassage des gaz dans la chambre de combustion, constitué par le retour de flammes, favorise la combustion complète des hydrocarbures formés dans le foyer et, par suite, la fumivorité. L'alimentation se fait par l'avant de la chaudière, dans la région froide du foyer. La facilité avec laquelle le vaporisateur se démonte rend le nettoyage de

cette chaudière beaucoup plus commode que celui des autres générateurs à tubes de fumée.

Enfin, la libre dilatation du vaporisateur jointe à ce fait que les plaques tubulaires ne sont jamais atteintes par le jet de flammes directes du foyer donnent à ce genre de générateur une grande durée en le mettant à l'abri des détériorations venant de dilatations inégales des diverses parties ou de l'échauffement trop considérable des tôles de coup de feu.

58. **Générateur semi-tubulaire à foyer intérieur du Creusot** (Etablissements Schneider et C^{ie} au Creusot). — Cette chaudière comprend un corps cylindrique cen-

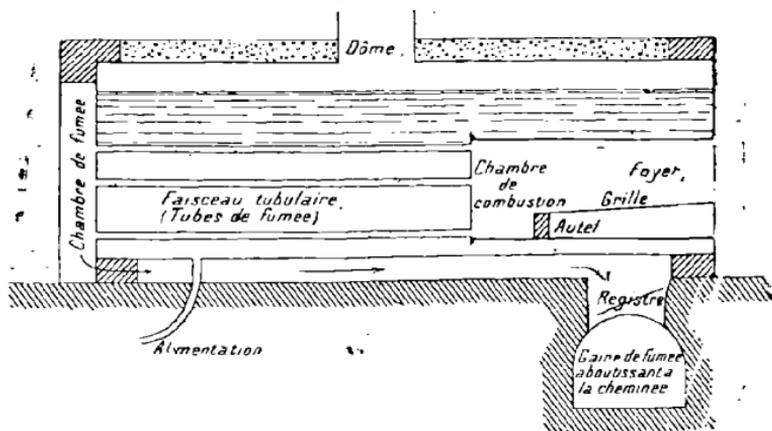


Fig. 33. — Chaudière du Creusot.

tenant un foyer à l'extrémité duquel se trouve le faisceau tubulaire. Les tubes du faisceau tubulaire sont engagés dans une plaque tubulaire avant, qui termine le foyer à sa partie postérieure, et dans le fond arrière du corps cylindrique.

Ces tubes débouchent dans une chambre à fumée d'où les gaz se rendent dans la cheminée en longeant le corps cylindrique jusqu'à l'avant de la chaudière (fig. 33).

**59. Générateur semi-tubulaire. Weyher et Riche-
mond.** — Ce générateur est du type semi-tubulaire à foyer extérieur. Il comprend deux bouilleurs réunis chacun par deux cuissards à un corps tubulaire. Dans ce type de générateur, les flammes et les gaz produits par la combustion entourent d'abord les bouilleurs, puis ils chauffent la partie inférieure du corps principal. La combustion est complète et, pour obtenir la meilleure utilisation possible du combustible, il suffit de recueillir par convection la chaleur contenue dans les gaz brûlés. Pour obtenir ce résultat, les gaz longent le corps supérieur latéralement, puis ils se rendent à la cheminée en traversant les tubes du faisceau tubulaire.

Comparé au générateur semi-tubulaire à foyer intérieur, la chaudière à foyer extérieur a l'avantage de donner une plus grande surface de chauffe à égalité de volume, elle permet, en outre, d'utiliser des charbons pour lesquels il est nécessaire d'employer des foyers spacieux à grand volant calorifique.

Les deux genres de chaudières ont donc chacun des applications particulières tenant à la nature des industries qui les emploient et à la qualité des charbons qu'elles ont à brûler.

CHAPITRE VIII

CHAUDIÈRES A TUBES D'EAU

60. Généralités sur les chaudières à tubes d'eau.

— Les chaudières multitubulaires comprennent comme partie essentielle un faisceau de tubes toujours remplis d'eau. Ces tubes, chauffés extérieurement, aboutissent à un collecteur cylindrique et forment avec lui un circuit continu fermé.

La circulation emprunte ce circuit.

Les tubes peuvent être considérés comme des bouilleurs de petit diamètre, ils réalisent une grande surface de chauffe sous un volume réduit et un faible encombrement. La mise en pression de ces chaudières est donc relativement rapide, d'autant plus rapide que les tubes offrent une plus grande surface de chauffe pour un faible volume, c'est-à-dire que les tubes sont de plus faible section.

C'est cette propriété que l'on recherchait pour l'application de la force motrice à vapeur à la marine, aussi ce genre de chaudières est-il très répandu à bord des navires de guerre et de commerce.

Les chaudières à petits tubes qui constituent une classe de ce genre de chaudières, sont employées à bord des torpilleurs où il est nécessaire de pouvoir mettre en pression rapidement.

L'inconvénient de ces chaudières est de ne contenir qu'un faible volume d'eau. Pour leur donner une puissance totale de vaporisation comparable à celle des chau-

dières à grand volume d'eau, on cherche à augmenter la vaporisation spécifique en rendant la circulation aussi active que possible.

Mais la circulation est difficile à organiser, surtout lorsque les circuits qu'elle emprunte comportent des tubes de petit diamètre, très exposés à s'obstruer ; et, lorsqu'elle est défectueuse, la vapeur n'est pas évacuée au fur et à mesure de sa formation, les tubes se remplissent de vapeur, et l'élément se détériore sous l'action du feu.

Ce genre de chaudière est délicat à conduire ; il exige des précautions spéciales dans la conduite du feu et dans l'alimentation, et il ne saurait être confié qu'à un personnel particulièrement habile.

Le bon fonctionnement d'une chaudière multitubulaire à tubes d'eau, ainsi que sa durée dépendent, beaucoup plus que pour tout autre type de générateur, de l'intensité de la circulation.

C'est la circulation qu'il faut chercher à améliorer, mais elle est souvent entravée, dans un grand nombre de types, parce que la vapeur des éléments inférieurs, les plus chauffés, est soumise à la pression d'une haute colonne d'eau, et qu'elle ne peut se dégager facilement.

Dans certaines de ces chaudières, le dégagement de la vapeur se fait sur une surface d'évaporation relativement faible, il est tumultueux ; dans d'autres, les divers éléments d'un même groupe de tubes sont chauffés à des températures différentes, et il se produit des circulations partielles en court circuit qui entravent la circulation générale.

Une organisation raisonnée des diverses parties peut seule permettre d'éviter ces inconvénients auxquels s'ajoute celui de ne pouvoir utiliser, dans le cas des géné-

rateurs à petits tubes, que de l'eau exempte de calcaire, c'est-à-dire, dans la plupart des cas, préalablement épurée.

La circulation jouant un rôle extrêmement important dans le fonctionnement de ces chaudières, on les a classées d'après la manière dont la circulation y est produite.

CHAPITRE IX

CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES A GROS TUBES D'EAU A CIRCUIT COMPOSÉ SIMPLE

61. **Considérations générales.** — Ces chaudières se subdivisent en deux catégories :

- a) les chaudières à tubes d'eau ;
- b) les chaudières à lames d'eau.

Dans les chaudières à tubes d'eau, les éléments d'un circuit de circulation partant du collecteur et y aboutissant sont formés de tubes ; en outre, chaque circuit débouche séparément dans le collecteur. Dans les chaudières à lames d'eau, les circuits de circulation, tubulaires également, se réunissent, avant d'aboutir au collecteur, dans une gaine qui se prolonge, à l'avant jusqu'à l'intérieur du collecteur.

L'effet de cette disposition est de rassembler tous les circuits de circulation pour former une « lame d'eau » ascendante, débouchant dans le collecteur, et y abandonnant la vapeur dont elle est mélangée.

La circulation dans les chaudières à tubes d'eau et à lame d'eau. Qu'il s'agisse de chaudières à tubes ou à lames d'eau, la circulation s'établit dans un circuit tel que *ABDC*. La partie la plus chaude étant *BDC*, le sens de la circulation est celui qui est indiqué par les flèches.

L'expérience faite dans un élément présentant la forme

représentée figure 34 montre qu'il s'établit deux circuits de circulation :

Un circuit total $ABDC$.

Un circuit partiel $B'BDD'$ localisé dans la partie inférieure du faisceau tubulaire.

Cette dernière circulation a pour effet :

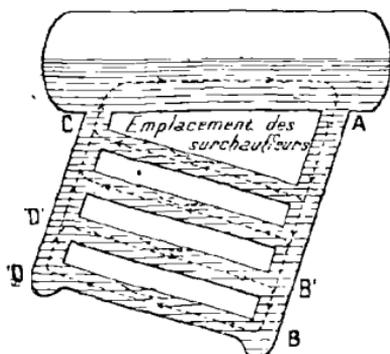


Fig. 34. — Circulation.

a) de contrarier le dégagement de la vapeur formée dans les tubes superposés ;

b) d'amener aux tubes inférieurs la vapeur des tubes supérieurs ;

c) de faire repasser sur les surfaces les plus échauffées l'eau la plus chaude et une partie de sa vapeur ;

d) de gêner par les remous qu'elle occasionne la

descente de l'eau dans le retour d'eau AB .

La circulation est alors moins intense dans le circuit total $ABDC$.

Ces circulations se produisant en court circuit dans les régions chaudes de la chaudière ont pour effet de maintenir l'eau dans les parties froides. Les calories cédées par le foyer au métal des tubes sont mal utilisées et la puissance de vaporisation spécifique se trouve réduite de ce fait.

En outre, les tubes inférieurs contenant une proportion relativement grande de vapeur risquent d'être détériorés par la chaleur du foyer, tandis que les éléments supérieurs, pleins d'eau, restent relativement froids.

Ces différences d'échauffement et, par suite, de dilata-

tion des diverses parties d'une chaudière produisent des dislocations qui nuisent à la durée du générateur.

Le défaut de circulation dans les éléments supérieurs occasionne un autre inconvénient :

Des bulles de vapeur tendent à se déposer sur les demi-cylindres supérieurs des tubes vaporisateurs, elles arrivent à former des poches qui, augmentant de volume, finissent par se détacher de la paroi des tubes pour venir crever à la surface en déplaçant une quantité d'eau égale à leur volume.

La vaporisation est tumultueuse, elle donne lieu à des chocs intérieurs qui disloquent la chaudière, en outre, elle réduit la puissance de vaporisation spécifique ; enfin, elle a pour effet d'augmenter la proportion d'eau entraînée mécaniquement par la vapeur.

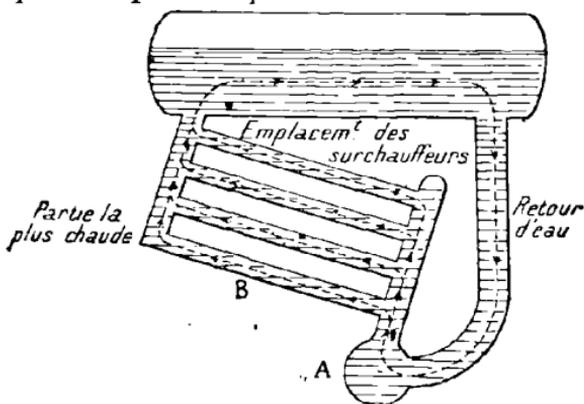


Fig. 35. — Circulation.

Tous ces inconvénients peuvent heureusement être atténués et même supprimés par une conduite convenable de la chaudière et, en particulier, de son chauffage.

Les chaudières de cette catégorie n'ont donc toutes leurs

qualités au point de vue de la vaporisation que si elles sont conduites par un personnel expérimenté et attentif ou si elles sont munies de grilles ou de dispositifs de chargement du foyer facilitant l'entretien du feu et régularisant le chauffage.

A cette catégorie de chaudières se rattachent celles qui possèdent à l'arrière et en dehors du foyer un retour d'eau spécial tel que celui qui est représenté schématiquement figure 35.

Ce retour d'eau aboutit à un cylindre horizontal inférieur A sur lequel sont greffés tous les éléments vaporisateurs B.

Les chaudières *Roser et de Naeyer* sont les types les plus répandus de ce genre de chaudières, qui sont construites maintenant par un grand nombre de constructeurs.

La caractéristique de leur organisation est qu'elles possèdent toutes un retour d'eau ayant pour but de favoriser la circulation, en mettant la partie descendante des circuits en dehors du foyer.

C'est dans le cylindre A placé à la jonction des parties relativement froides et des régions chaudes du générateur que se déposent les boues provenant de l'épuration de l'eau par la chaleur. Ce cylindre constitue le débourbeur du générateur; un robinet de purge permet de faire les évacuations des dépôts en pleine marche.

La figure 36 représente une chaudière de Naeyer munie d'un surchauffeur horizontal.

62. Chaudière Babcock et Wilcox. — La chaudière *Babcock et Wilcox* comprend un certain nombre de circuits (6 à 10 environ), analogues à celui de la figure 34, réunis à leur partie supérieure à un corps cylindrique

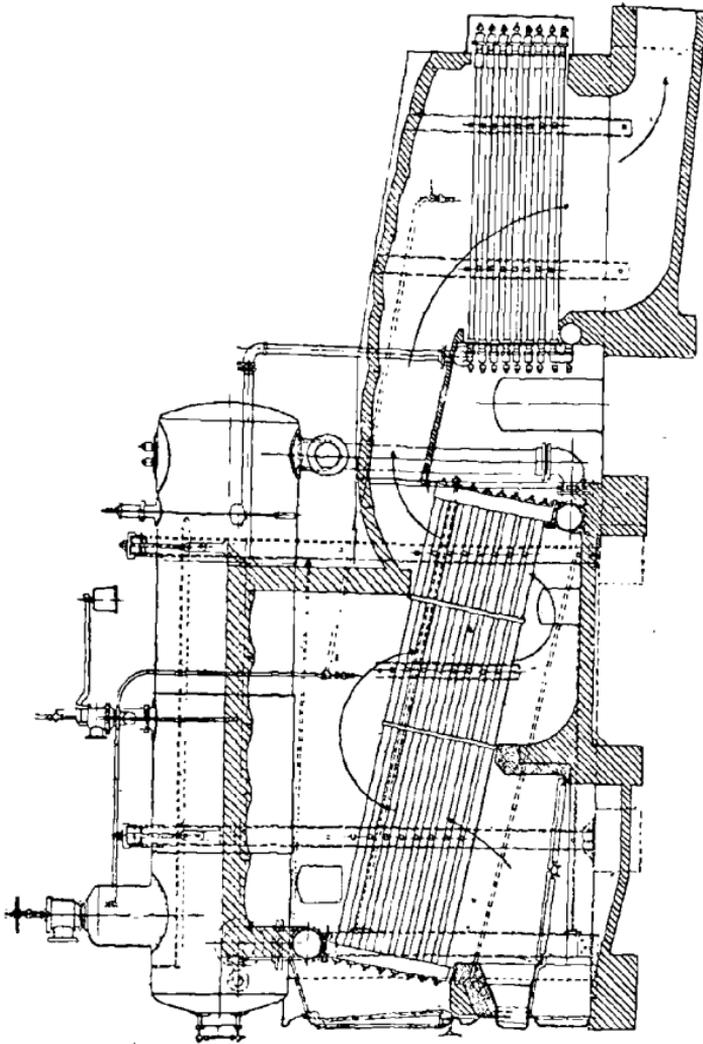


Fig. 35. — Chaudière de Naeyer avec surchauffeur.

formant réservoir d'eau et de vapeur, et à un collecteur arrière inférieur, par lequel se fait l'évacuation des boues et la vidange de la chaudière.

Chaque circuit est constitué par un faisceau de tubes inclinés (6 à 10 généralement) aboutissant à l'avant et à l'arrière à un collecteur. Ces collecteurs communiquent

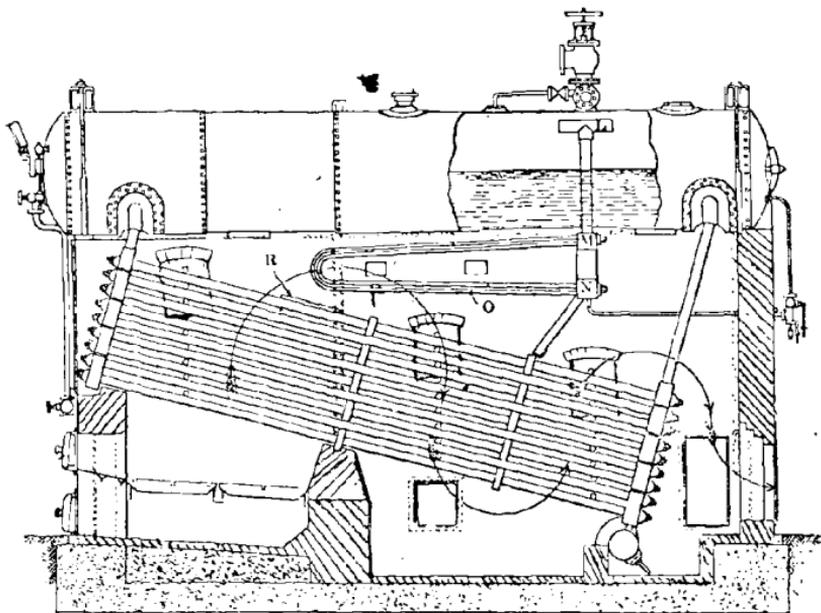


Fig. 37. — Chaudière Babcock et Wilcox avec surchauffeur.

avec le corps cylindrique supérieur à l'avant et à l'arrière au moyen de conduites cylindriques débouchant dans ce cylindre, lorsque celui-ci est perpendiculaire à la direction générale des tubes vaporisateurs. La communication se fait par des gaines spéciales lorsque le corps cylindrique supérieur est parallèle aux tubes vaporisateurs.

Le réservoir d'eau et de vapeur est surmonté d'un

collecteur de vapeur assurant aux machines une arrivée de vapeur absolument sèche.

L'eau d'alimentation subit une épuration par la chaleur dans la chaudière elle-même : à cet effet, la chaudière possède un cylindre épurateur surmontant le cylindre supérieur et communiquant avec lui par un tuyau de trop-plein intérieur. L'eau abandonne dans cet épurateur la plus grande partie de ses sels, et les boues qui se forment s'évacuent en marche.

Ces générateurs emploient des grilles ordinaires, des grilles à chargement mécanique, etc. Leur puissance de vaporisation spécifique atteint 20 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Lorsqu'ils fournissent de la vapeur surchauffée, les surchauffeurs sont placés entre les faisceaux tubulaires et le corps cylindrique.

La figure 37 représente une chaudière de ce genre munie d'un surchauffeur.

63. Chaudières à lames d'eau de M. Charles Bourdon ¹. — La chaudière à lames d'eau de M. Charles Bourdon se compose d'une série de lames verticales établies au-dessus du foyer.

« M. Bourdon compte que les courants parallèles de descente de l'eau et de montée de la vapeur s'établiront naturellement, sans se contrarier de façon nuisible. Un léger courant de circulation générale, analogue à celui des tubes de la chaudière Field, est obtenu à l'aide de tubes plongeant dans les lames, à leur partie arrière, près de l'autel. Le but de ce courant n'est point de faciliter le dé-

¹ BERTIN. Rapport publié par le *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, juin 1908.

gagement de la vapeur, mais seulement d'entraîner, vers un déjecteur ou détartreur, tous les dépôts qui, sans cela, se déposeraient dans le bas des lames, à l'endroit le plus dangereux. Les lames d'eau sont formées de deux tôles ondulées à génératrices horizontales réunies par des entretoises dans les parties étranglées; elles sont en contact dans les renflements. Par cette disposition, une voûte continue est établie au-dessus du foyer; les flammes sont ainsi renvoyées dans une chambre de combustion, d'où elles reviennent horizontalement à la boîte à fumée en traversant les canaux compris entre quatre demi-renflements de lames d'eau. La circulation de la flamme est donc très exactement la même que sur les chaudières tubulaires à retour de flamme. »

« Grâce à un allongement sur le bas des deux lames d'eau latérales du faisceau et à l'établissement d'une lame supplémentaire, indispensable pour le fonctionnement du déjecteur, à l'arrière de la boîte à feu, les flammes sont entourées d'eau de toutes parts et sur tout leur parcours comme dans les chaudières rectangulaires ou cylindriques, ce qui est aussi favorable que possible à l'utilisation de la chaleur. »

Les expériences de vaporisation faites avec une chaudière à lames de 120 millimètres de largeur pour une activité de combustion de 80 kilogrammes par mètre carré, le tirage étant faible, ont donné les résultats suivants : La vaporisation a été de 8 à 9^{kg},200 de vapeur sèche à 10 kilogrammes par centimètre carré par kilogramme de charbon contenant 8 % de cendre. La vaporisation spécifique a été de 16 à 18^{kg},200 par mètre carré de surface de chauffe.

64. **Chaudière Buttner** (Construite par MM. Lellaive et C^{ie} à Saint-Etienne). — La chaudière Buttner (fig. 38)

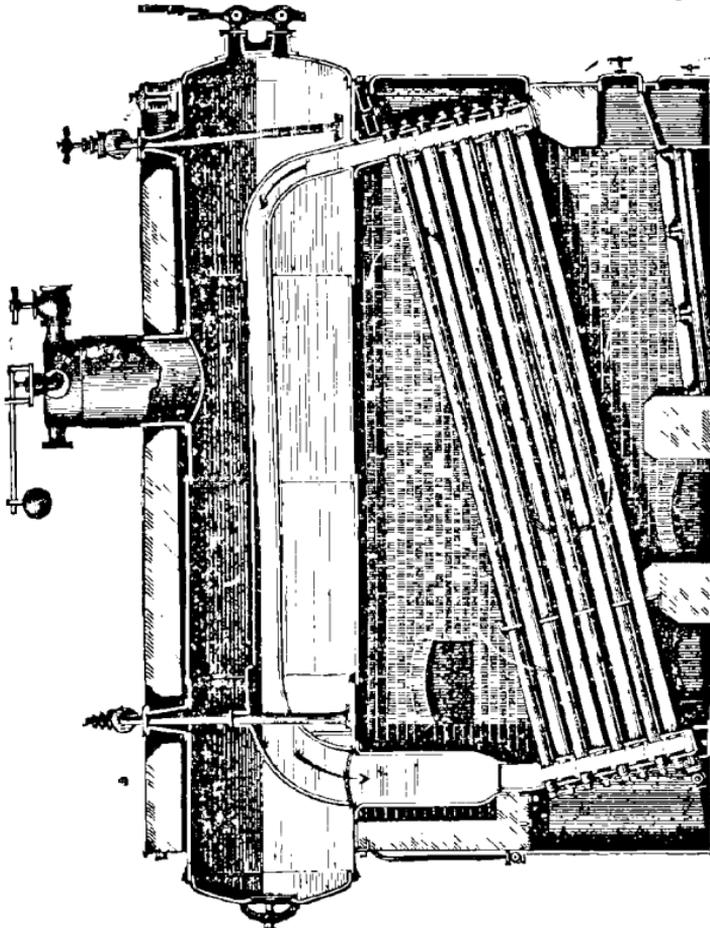


Fig. 38. — Chaudière Buttner type Lellaive et Cie.

comprend une série de tubes aboutissant dans deux boîtes ou collecteurs.

Ces collecteurs sont reliés au corps cylindrique supérieur par deux communications.

Un couloir de circulation placé dans le corps cylindrique réunit les deux communications. Ce couloir est découvert à la partie supérieure ; il est étanche à l'avant et percé de deux ouvertures à l'arrière.

Grâce à cette disposition, l'eau du corps cylindrique pénètre dans la communication arrière et par suite dans le faisceau tubulaire ; elle remonte par la communication avant et vient s'étaler à la partie supérieure du couloir. Elle recommence alors à parcourir le même circuit presque indépendant de la masse d'eau du corps supérieur, et la circulation s'accélère très rapidement.

Les collecteurs du faisceau tubulaire peuvent être considérés comme les branches de deux vases communicants contenant des liquides de densités différentes ; celui d'arrière contenant de l'eau à la température de la chaudière, celui d'avant, une émulsion d'eau et de vapeur.

On s'est attaché, dans la chaudière Buttner, à augmenter la puissance de vaporisation spécifique, à diminuer la quantité d'eau entraînée par la vapeur, à faire disparaître les inconvénients des dépôts calcaires dans les faisceaux tubulaires, et les dangers résultant de l'inégalité des dilatations qui se produisent parfois dans les chaudières multitubulaires.

La puissance de vaporisation spécifique de ce genre de chaudière dépasse 20 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure, pour un tirage naturel de 3 millimètres d'eau.

L'émulsion d'eau et de vapeur qui sort de la communication avant est projetée horizontalement dans le couloir, ce qui permet à la vapeur de se débarrasser des particules d'eau qu'elle contient.

De plus, la vapeur qui est produite dans le corps cylin-

drique se dégage sur une surface étendue et très calme et elle n'entraîne pas d'eau.

Toutes les parties de la chaudière tendent donc à donner de la vapeur sèche.

L'alimentation de la chaudière Buttner se fait dans le corps cylindrique et à l'avant. Les sels que contient l'eau en dissolution se précipitent, ils sont dirigés par la circulation vers l'arrière du corps cylindrique où ils sont arrêtés par une cloison contre laquelle ils s'accumulent.

Ces dépôts peuvent être expulsés par des extractions que l'on fait en marche, et les impuretés ne pénètrent pas dans le corps tubulaire.

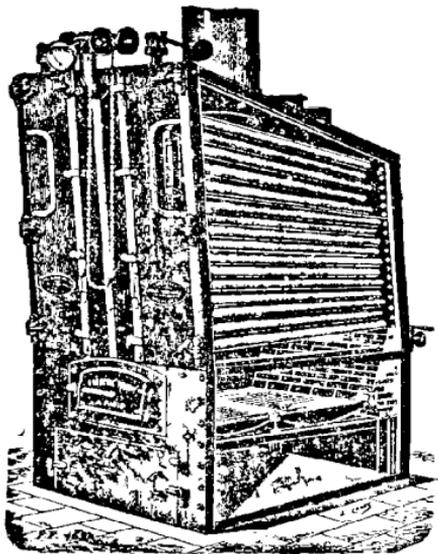


Fig. 39. — Chaudière Fouché.

La circulation est très active dans ce type de chaudière et, indépendamment des avantages qu'elle donne, elle assure aux diverses parties du générateur une température à peu près constante et voisine de celle du corps cylindrique. On évite ainsi les accidents provenant des dilatactions inégales.

La chaudière Buttner se construit suivant plusieurs types, le type à moyen volume d'eau, pour les applications qui exigent une consommation régulière de vapeur, et le type à grand volume pour les industries où l'on con-

somme irrégulièrement de grandes quantités de vapeur telles que les mines, les forges, etc.

Le type à grand volume ne diffère du premier que par l'extension du réservoir supérieur et l'adjonction d'un second réservoir de volume plus faible à la partie postérieure du faisceau tubulaire.

Ces chaudières utilisent des grilles ordinaires, des grilles à chargement automatique ; elles peuvent être chauffées aussi par les gaz perdus des fours métalliques. Lorsqu'elles comportent un surchauffeur, cet appareil est placé entre le faisceau tubulaire et le corps cylindrique ou dans la gaine de fumée.

La chaudière Fouché est aussi une chaudière à lame d'eau. Elle est représentée figure 39.

65. Chaudière Mathot. — La chaudière Mathot est une chaudière multitubulaire à gros tubes d'eau, du type « à circuit composé simple à lame d'eau ». Elle se compose d'un faisceau tubulaire incliné de 15° environ de l'avant vers l'arrière et aboutissant à deux chambres d'eau ; ces chambres communiquent elles-mêmes avec un corps cylindrique supérieur.

La chambre antérieure est rivée à ce réservoir cylindrique ; quant à la chambre postérieure, elle n'est reliée au même réservoir que par des communications flexibles permettant les dilatations et contractions dues aux tubes vaporisateurs.

La chambre postérieure débouche à une certaine distance du fond du réservoir cylindrique supérieur et forme ainsi une capacité restant en dehors du circuit de circulation.

L'alimentation et l'épuration par la chaleur se font dans l'eau de cette capacité intérieure, et les dépôts qui s'y forment sont évacués directement à l'extérieur.

La partie postérieure du corps supérieur joue donc le rôle d'épurateur, et les boues qui s'y déposent ne sont entraînées qu'en très petite quantité par la circulation dans les tubes, c'est-à-dire sur les surfaces directes de chauffe.

Chaudière Lagrafel et d'Allest. — Cette chaudière est une chaudière à lames d'eau constituée par des tubes débouchant à l'avant et à l'arrière dans des caissons collecteurs débouchant dans un corps cylindrique supérieur. Le circuit de circulation est un circuit composé simple, constitué par les tubes, les lames d'eau avant et arrière, et le corps cylindrique supérieur. Le foyer est organisé de manière que sa chaleur soit bien répartie entre les diverses rangées de tubes et que les gaz soient parfaitement brûlés. A cet effet, le foyer est limité à sa partie supérieure par la rangée des tubes inférieurs dont les intervalles sont comblés par des cloisons en briques. Les gaz chauds restent donc peu de temps en contact avec la rangée inférieure, ils passent à l'arrière dans une chambre de combustion commune à deux générateurs où ils se brassent et se mélangent, puis ils traversent le faisceau tubulaire. Une cloison horizontale placée à la dernière rangée oblige les gaz chauds à lécher le corps supérieur avant d'aller à la cheminée.

CHAPITRE X

CHAUDIÈRE A PLANS D'EAU MULTIPLES ET A CIRCULATIONS INDÉPENDANTES

66. Chaudière Van Oosterwyck (Exposition de

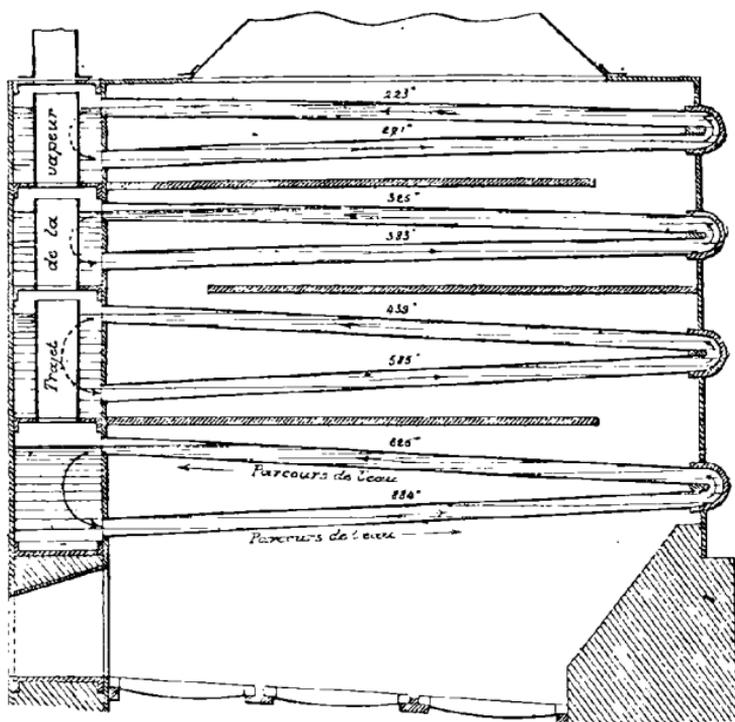


Fig. 40. — Chaudière Van Oosterwyck.

Liège, 1905). — Dans ce type de générateur, les éléments

d'une même rangée verticale aboutissent chacun à un caisson spécial formant la façade de la chaudière.

La circulation se fait par élément séparé ; son intensité est proportionnelle à la température des gaz qui l'entourent.

Les circulations partielles se font ainsi indépendamment les unes des autres et elles ne se gênent pas mutuellement, comme cela a lieu dans un grand nombre de chaudières multitubulaires à tubes d'eau.

De plus, le dégagement de vapeur se fait suivant une grande surface ;^g il n'est pas tumultueux et les éléments n'ont pas de tendance à se vider.

Enfin, les éléments supérieurs servent d'épurateurs aux éléments inférieurs ; l'alimentation, en effet, se fait par la partie supérieure, l'eau se dépouille, sous l'influence de la chaleur du courant ascendant de vapeur, des sels calcaires qu'elle contient (fig. 40).

CHAPITRE XI

CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES, A GROS TUBES A CIRCUIT COMPOSÉ SIMPLE ET RETOUR INTÉRIEUR AUX TUBES VAPORISATEURS

67. **Considérations générales.** — Les chaudières de cette classe ont pour origine le tube pendentif de Field.

Leur surface de chauffe est presque exclusivement composée de ces tubes dont le faisceau est sur le trajet des flammes qui vont du foyer à la cheminée.

Le fonctionnement de ces chaudières et, en particulier, leur circulation diffèrent notablement, suivant que les tubes sont verticaux, ou peu inclinés sur la verticale, ou qu'ils sont presque horizontaux.

Lorsqu'ils sont verticaux, ils fonctionnent comme des tubes Field. Lorsqu'ils sont presque horizontaux, ils fonctionnent comme des tubes Niclausse.

Les chaudières genre Field étant plutôt à petits tubes d'eau, le générateur genre Niclausse est le type des générateurs de cette classe.

Les chaudières de cette catégorie ont tous les avantages des chaudières à circulation intense, c'est à-dire un grand coefficient de vaporisation et une grande puissance de vaporisation spécifique.

La circulation emprunte un circuit constitué par le tube central, formant retour d'eau, et l'intervalle compris entre les deux tubes. L'eau relativement froide, qui descend par le collecteur avant, pénètre à l'intérieur du tube

central, puis passe de là dans l'intervalle annulaire chauffé par le tube extérieur. Elle se transforme en vapeur et celle-ci s'échappe par le collecteur arrière dans le réservoir supérieur.

Ces chaudières présentent quelques inconvénients auxquels on peut du reste remédier par une construction appropriée des diverses parties et une conduite convenable de la chauffe.

La circulation est entravée dans le collecteur arrière par les tubes de retour. On peut y remédier par un développement suffisant donné à ce collecteur.

Des remous se produisent en divers points et s'opposent à la circulation : Cet inconvénient, que l'on constate à des degrés différents dans les éléments qui dérivent du tube Field, peut être notablement atténué par une conduite régulière de la chauffe.

La pression d'eau qui s'exerce au débouché des éléments inférieurs dans le collecteur arrière gêne le dégagement de la vapeur ; il se forme de grosses bulles dans ces éléments et, lorsqu'elles se dégagent, la vaporisation devient tumultueuse et donne lieu à des entraînements d'eau.

Enfin, les éléments inférieurs, plus exposés que les autres à être complètement remplis de vapeur, se trouvant en outre dans la partie la plus chaude du foyer, courent le risque d'être détériorés par le feu si la chauffe n'est pas conduite avec soin.

Ces deux derniers inconvénients peuvent du reste être grandement atténués par la construction.

68. **Chaudière Niclaussé.** — La chaudière Niclaussé se compose d'un certain nombre d'éléments vaporisateurs débouchant dans des collecteurs verticaux mis eux-

mêmes en communication, par leur partie supérieure,

avec un réservoir cylindrique horizontal.

Les éléments vaporisateurs forment un faisceau tubulaire légèrement incliné vers l'arrière et soutenu à l'extrémité opposée aux collecteurs par une cloison métallique qui limite la boîte à feu.

Chaque élément comprend un *tube bouilleur* et un *tube de circulation*, celui-ci agissant en même temps comme réchauffeur.

Le tube bouilleur est fermé à l'arrière par un bouchon démontable, tandis que sa partie antérieure est disposée en forme de lanterne à deux ouvertures.

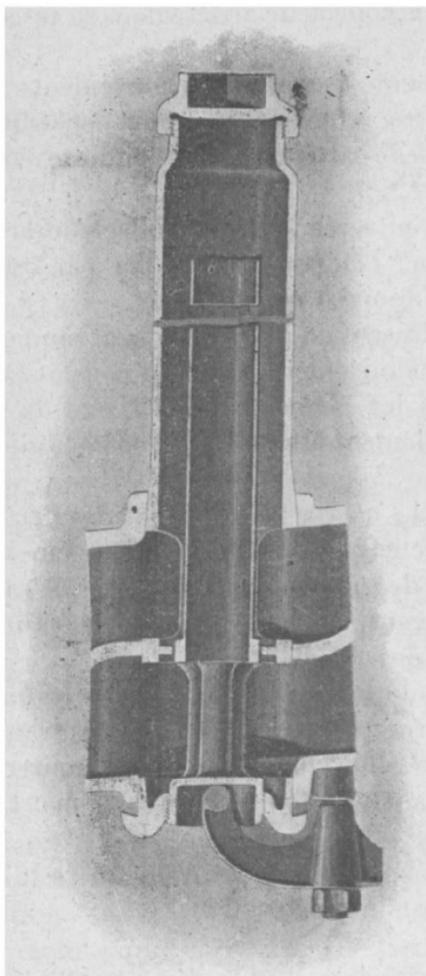


Fig. 41. — Élément Niclusso.

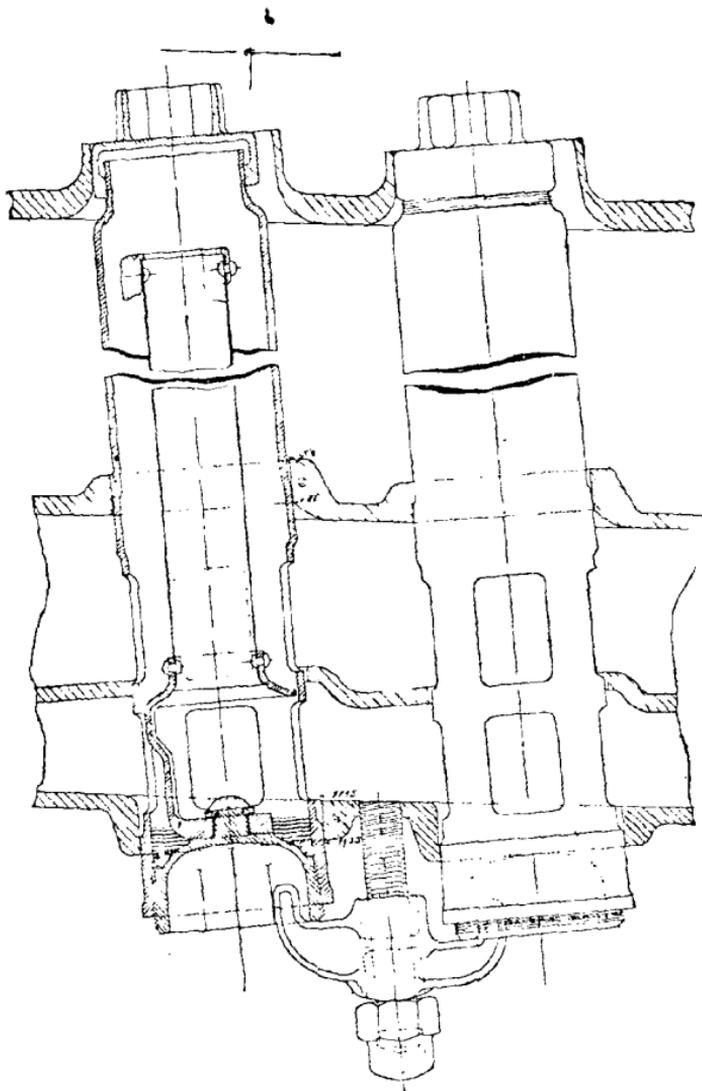


Fig. 4a.

Les deux extrémités de cette lanterne sont légèrement coniques ; de plus, elle est percée en son milieu d'une ouverture filetée également conique.

Le tube de circulation, ouvert à sa partie arrière, est terminé à l'avant par une tête filetée, conique extérieurement. Cette tête, reliée au tube par une branche qui en laisse ouverte la partie antérieure, vient se visser dans l'ouverture de la lanterne qui termine le tube bouilleur.

Ces éléments se fixent sur les collecteurs.

Chaque collecteur, dans lequel viennent déboucher tous les éléments d'une même rangée verticale, est divisé en deux compartiments par une cloison parallèle aux cloisons avant et arrière du collecteur lui-même.

Des ouvertures, ayant le même axe que les tubes, sont percées dans ces cloisons, elles servent à fixer les tubes bouilleurs (cloison arrière), les tubes de circulation (cloison intermédiaire) et sont utilisées pour le démontage et le nettoyage (cloison avant). Les ouvertures des deux cloisons extrêmes sont coniques et correspondent aux cônes de la lanterne du vaporisateur. Le cône avant de cette lanterne est élastique, et celui de l'arrière relativement rigide.

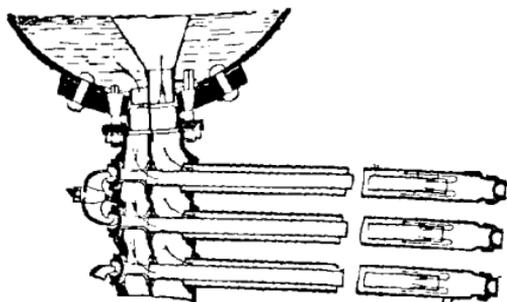
On assure ainsi, très facilement, une étanchéité parfaite en profitant de la flexibilité du premier cône pour le faire porter légèrement en avance sur le second, au moment de la mise en place, avant le serrage. Celui-ci se fait ensuite, et les deux joints sont associés d'une façon régulière.

Les parties sur lesquelles s'exerce la pression étant de même diamètre, chacun des tubes est absolument équilibré. Néanmoins, des barrettes de sûreté venant s'appuyer sur la partie intérieure du tube, maintiendraient

l'emboîtement de celui-ci sur le collecteur, au cas où des chocs ou des vibrations viendraient à l'ébranler.

Les tubes étant seulement fixés à l'une de leurs extrémités peuvent se dilater librement.

Chaque collecteur comporte un nombre de tubes vaporisateurs variables selon la puissance de la chaudière. Le diamètre



aussi en rapport avec leur nombre, c'est-à-dire avec la puissance de l'appareil.

Tous les collecteurs sont réunis à leur partie inférieure par un collecteur de vidange d'où l'on peut extraire les dépôts sous pression.

Les collecteurs communiquent par leur partie supérieure avec le réservoir, auquel ils sont fixés, au moyen de joints métalliques bi-coniques démontables.

Le réservoir porte les accessoires réglementaires : soupapes de sûreté, robinets de niveau d'eau, de jauge, d'extraction, de surface, clapet de retenue de la conduite d'alimentation, vanne de prise de vapeur, etc.

L'alimentation se fait dans le réservoir et dans la vapeur ; l'eau refoulée par les pompes est pulvérisée à son entrée dans le réservoir, elle est en contact intime avec la vapeur, et la précipitation des sels calcaires se produit.

Ces dépôts tombent, à la partie inférieure des collecteurs, dans le collecteur de purge d'où ils sont extraits par l'ouverture d'un robinet de purge.

La circulation s'établit de haut en bas dans la partie avant de chaque collecteur, et de bas en haut dans la

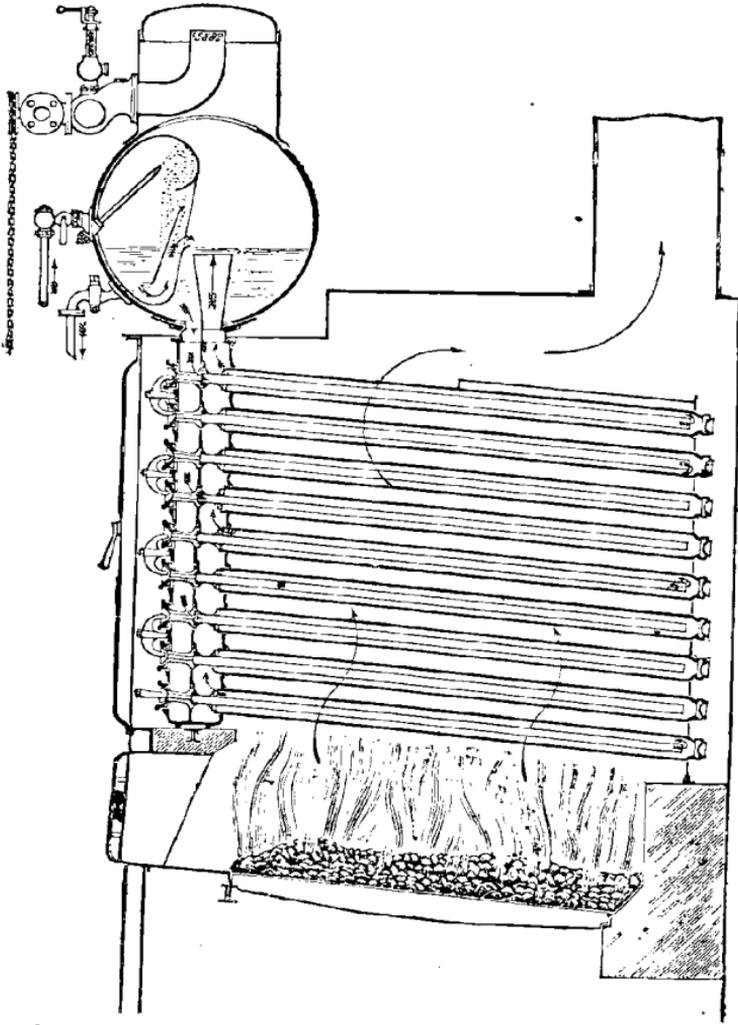


Fig. 44. — Chaudière Niclausc.

partie arrière. Chaque élément fonctionne comme un tube

Field dans lequel la circulation se fait de l'intérieur à l'extérieur recevant de l'eau du compartiment avant du collecteur et donnant de la vapeur au compartiment arrière du même élément (fig. 43 et 44).

L'inclinaison donnée aux tubes favorise le dégagement de la vapeur dans le collecteur et, par suite, la circulation générale. Un diaphragme, placé au débouché des compartiments arrière des collecteurs dans le réservoir, sépare la vapeur de l'eau à réchauffer qui descend dans la partie avant.

Le dégagement de la vapeur dans le réservoir se fait sur une très large surface; en outre, la prise de vapeur de l'eau du réservoir se fait dans le dôme aussi loin que possible de la surface de chauffe. Ces deux circonstances sont favorables à une production de vapeur sèche.

Dans la chaudière Niclausse, le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de chauffe à la surface de grille est de 35 environ. Le coefficient de vaporisation atteint 10 kilogrammes par kilogramme de charbon pur. La puissance de vaporisation spécifique, 35 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure (fig. 46).

Chaudière Niclausse type marine. — Le faisceau tubulaire de cette chaudière est semblable à celui du type de terre décrit ci-dessus; il est placé dans une enveloppe constituée par des tôles légères et protégées jusqu'à une certaine hauteur au-dessus du foyer par des briques réfractaires. La partie supérieure de cette enveloppe est constituée par un double écran avec interposition de matières isolantes.

Le fourneau, les portes du foyer et la façade des tubes sont disposés comme dans les types fixes.

Les chaudières marines (fig. 47) doivent pouvoir donner momentanément des puissances de vaporisation notablement différentes des puissances normales ; le démontage des éléments et le nettoyage doivent être faciles ; enfin, elles doivent avoir un fonctionnement très régulier.

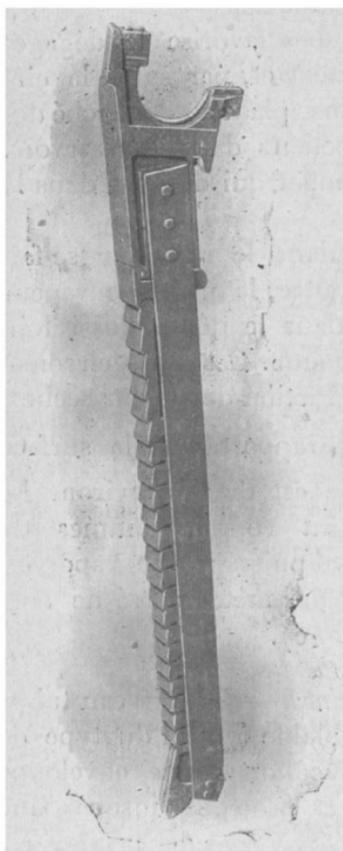


Fig. 45. — Grille système Niclausse.

Les chaudières Niclausse peuvent résister sans inconvénient à des combustions relativement élevées, les chaudières de torpilleur supportent pendant 10 heures une activité de combustion de 400 kilogrammes de charbon par mètre carré de surface de grille sans qu'il se produise d'incidents ni de cintrage du faisceau tubulaire.

Cette sécurité de fonctionnement aux plus fortes surcharges résulte de l'absence de joints de rivets, et de filetages exposés à l'action directe du foyer ; elle

est due aussi au mode de construction qui donne aux tubes la possibilité de se dilater librement.

Les démontages et les nettoyages sont faciles : chaque tube peut en effet se démonter isolément et le démontage

n'exige que très peu de temps. Les facilités de réparation sont la conséquence des facilités de visite et de démontage ; l'arrêt de la chaudière, le remplacement de tous les tubes de la rangée inférieure, et la mise en pression, ne demandent pas plus de 40 minutes.

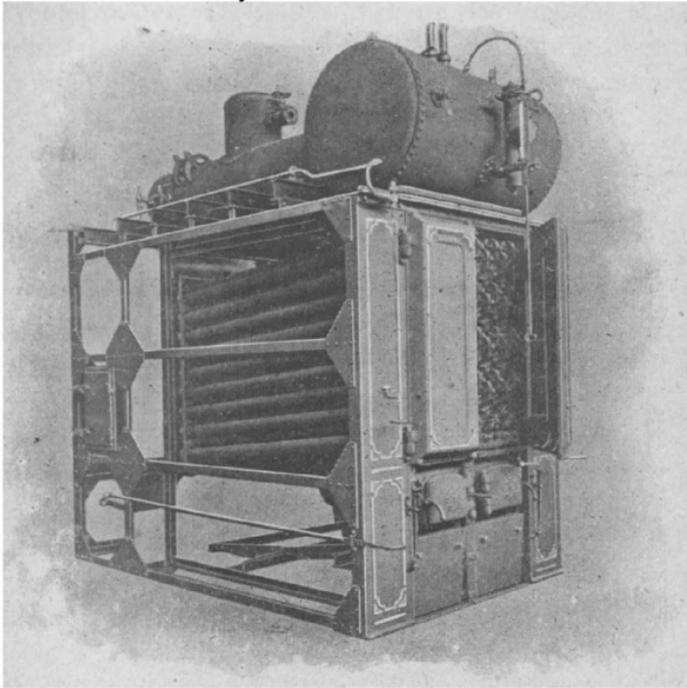


Fig. 46. — Chaudière Niclausse.

La chaudière Niclausse est munie de dispositifs pour les extractions de surface et pour les extractions de fond. Le premier sert à enlever les huiles qui surnagent à la surface ; le second, dans le cas accidentel de marche à

L'eau de mer, est employé pour diminuer la saturation. Quand la chaudière est en fonctionnement, on procède comme pour les chaudières ordinaires, c'est-à-dire qu'on

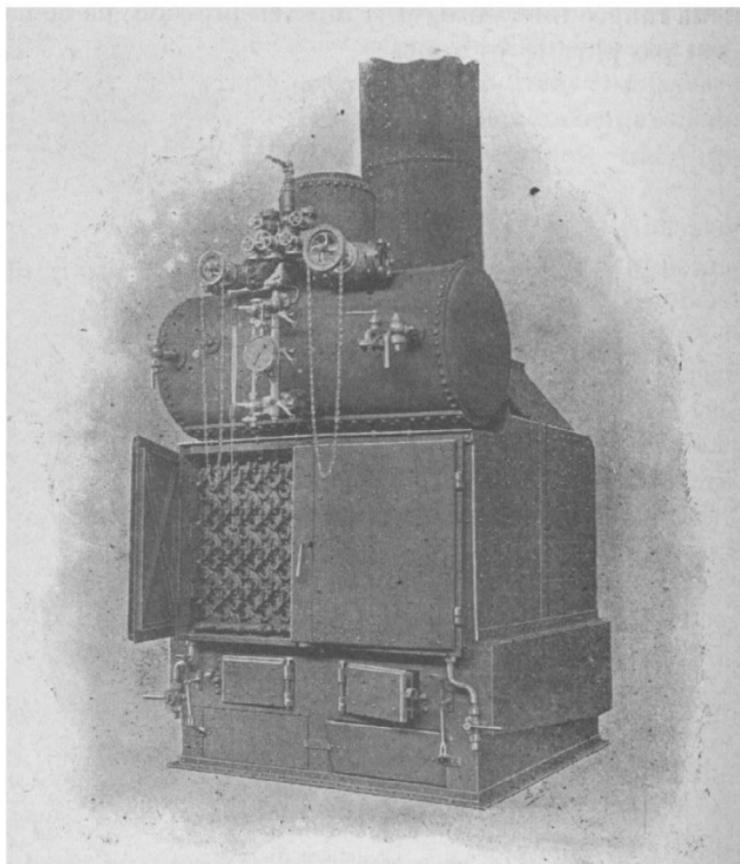


Fig. 47. — Chaudière Niclauss.

purge sous pression par les extractions de fond pendant qu'on alimente les chaudières. Par l'effet de la circulation

il y a mélange dans toutes les parties de la chaudière de l'eau d'alimentation avec l'eau saturée, et la saturation diminue avec autant de facilité que dans les autres types de chaudières.

La grande régularité de fonctionnement de ce générateur est due à la quantité d'eau relativement considérable qu'il renferme, et aussi à l'ampleur des grilles et des chambres de combustion qui assurent un grand volant de pression au générateur, et un grand volant de chaleur au foyer.

Dans les chaudières des grands navires, le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de chauffe à la surface de grille varie de 32 à 36 avec des combustions ne dépassant pas 170 à 180 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille et par heure.

Les chaudières de torpilleurs exigent une activité de combustion atteignant 400 kilogrammes; le rapport $\frac{S}{G}$ atteint 50.

La puissance de vaporisation spécifique atteint 80 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure pour une activité de combustion de 400 kilogrammes. Elle est de 43 kilogrammes environ pour une activité de combustion de 200 kilogrammes.

Le coefficient de vaporisation varie de 11^{kg},300 à 10^{kg},300 lorsque l'activité de la combustion varie de 200 à 400 kilogrammes correspondant à une dépression comptée au pied de cheminée variant de 28 millimètres à 109 millimètres d'eau.

Nécessairement, ces divers éléments décroissent d'une façon notable lorsque la chaudière travaille à demi-charge

ou à un régime beaucoup plus faible que son régime normal.

Chaudières type transportable — type tramways. — Ces chaudières sont identiques, aux dimensions près, aux chaudières, type marine, du même système.

Leur puissance de vaporisation spécifique et leur coefficient de vaporisation sont comparables pour des activités de combustion semblables.

CHAPITRE VII

CHAUDIÈRES A GROS TUBES D'EAU ET A SERPENTIN

La chaudière Belleville est le type des chaudières de cette catégorie.

69. **Chaudière Belleville.** — Le premier modèle de chaudière Belleville date de 1850. Depuis cette époque, ce genre de générateur a été l'objet de perfectionnements nombreux et importants, surtout en ce qui concerne l'épuration des eaux d'alimentation par la chaleur, l'application de la surchauffe, le réchauffage de l'eau d'alimentation, l'alimentation proprement dite, enfin les facilités d'entretien et la sécurité du personnel chargé du fonctionnement des appareils.

Les types actuels comprennent la chaudière proprement dite munie d'un sécheur de vapeur ; ou la chaudière surmontée d'un surchauffeur ; ou enfin la chaudière, avec sécheur, munie d'un économiseur (réchauffeur d'eau d'alimentation ; fig. 49).

La chaudière proprement dite est constituée par un certain nombre d'éléments vaporisateurs affectant la forme d'un serpentín aplati et constituant, dans leur ensemble, une sorte de ressort susceptible, par suite, de se bien prêter au libre jeu des allongements et des contractions produites par la chaleur du foyer.

Ces éléments, tous de même dimension, sont en nombre

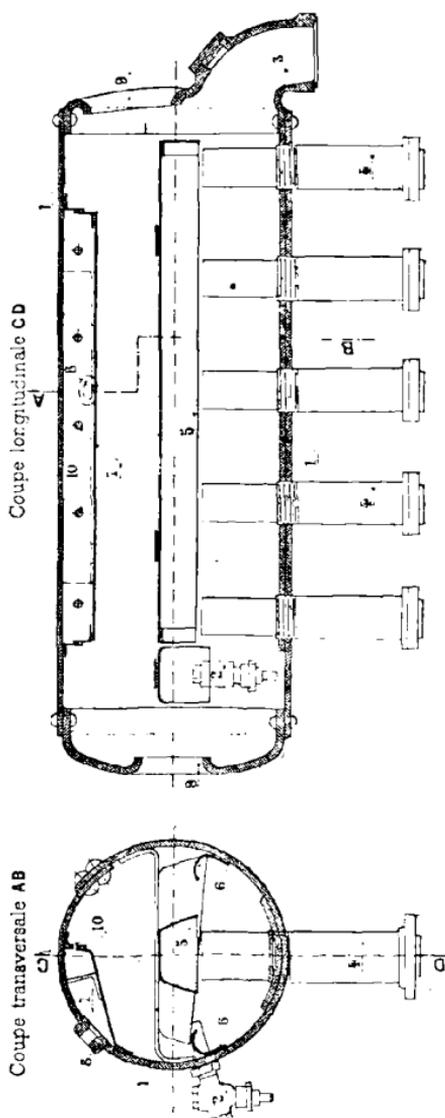


Fig. 48. — Collecteur épurateur Belleville.

Légende

1. Corps de l'épuration.
2. Injecteur d'alimentation.
3. Tubulure de retour d'eau.
4. Tubulure d'arrivée de vapeur.
5. Cloche à vapeur recouvrant les tubulures (4).
6. Tôle brise lames.
7. Chambre de prise de vapeur percée de trous.
8. Mamelon de sortie de vapeur.
9. Antoclaves de nettoyage.

variable suivant la puissance de vaporisation des divers types établis. Ils communiquent par leur partie inférieure avec un *collecteur d'alimentation* et par leur partie supérieure avec un *collecteur-épurateur*. Ces deux collecteurs sont réunis par un ou deux retours d'eau suivant les types de chaudières.

Le *collecteur-épurateur* est à la fois un collecteur de vapeur et un épurateur d'eau d'alimentation (fig. 48).

Il est constitué par un cylindre horizontal surmontant l'ensemble des éléments. Pour jouer son double rôle, il est divisé en deux parties par une cloison cylindrique quasi circulaire, formant une sorte de rigole pour l'eau d'alimentation et laissant une communication, par sa partie supérieure, entre la vapeur et l'eau.

Cette cloison sépare l'eau d'alimentation du débouché des éléments dans le *collecteur-épurateur*.

La vapeur qui se dégage des éléments parcourt l'intervalle compris entre la cloison intérieure et le cylindre du collecteur, et elle pénètre dans la rigole d'alimentation par la partie supérieure de cette enceinte.

Dans ce trajet, l'eau de primage¹ se dépose, elle retombe dans les éléments ou se mélange à l'eau d'alimentation.

La vapeur passe de là dans le sécheur ou dans le surchauffeur lorsque la chaudière comporte cet organe.

L'eau d'alimentation vient du régulateur automatique d'alimentation; directement, dans les types de chaudières qui ne comportent pas d'économiseur, ou par l'intermédiaire de cet appareil dans les types qui le comportent.

¹ On appelle eau de primage, celle qui est entraînée par la vapeur.

Mise en contact avec la vapeur, elle s'échauffe et elle s'épure.

Les dépôts formés sont entraînés par le courant d'eau jusque dans le *déjecteur* d'où ils sont extraits par des purges faites en marche.

L'eau chaude descend par le retour d'eau dans le collecteur d'alimentation, en fermant ainsi le circuit de circulation dont les parties actives sont constituées par les éléments vaporisateurs.

En ce qui concerne la combustion proprement dite, la chaudière Belleville est organisée de la manière suivante :

Les éléments vaporisateurs sont placés dans le trajet direct des gaz du foyer. Un certain nombre de chicanes, constituées par des plaques de tôle perforées, placées sur les éléments, brassent les gaz et favorisent la transmission de la chaleur aux surfaces de chauffe.

Le foyer est soufflé par un jet de vapeur venant d'un souffleur placé le long du collecteur d'alimentation.

Dans la chaudière Belleville, l'alimentation est réglée automatiquement par un régulateur automatique d'alimentation, cet appareil agit sur le refoulement des pompes alimentaires pour maintenir un niveau constant.

Un régulateur automatique de tirage et de pression agit sur le tirage de la cheminée et par suite sur l'activité de la combustion de manière à maintenir une pression constante.

Régulateur automatique d'alimentation. — Le régulateur automatique d'alimentation est constitué par une soupape équilibrée qui règle l'introduction de l'eau dans

le générateur. Cette soupape est manœuvrée par un flotteur renfermé dans une colonne de niveau qui communique par le haut et par le bas avec les éléments générateurs de vapeur.

Les mouvements d'oscillation du niveau sont transmis par le flotteur à la soupape équilibrée et celle-ci démasque pour le passage de l'eau d'alimentation une section plus ou moins grande suivant que le niveau descend ou monte.

Régulateur automatique de tirage et de pression. — L'appareil se compose d'un cylindre fermé à sa partie inférieure et contenant à sa partie supérieure un piston constitué par des rondelles Belleville. Ce piston forme dans le cylindre une capacité étanche qui est mise en communication constante avec le collecteur de vapeur de la chaudière. La face supérieure de ce piston supporte la pression atmosphérique.

A toute variation de pression dans la chaudière correspondra un mouvement du piston, une élévation de celui-ci lorsque la pression augmentera, un abaissement lorsqu'elle diminuera.

Le piston agit sur un registre par l'intermédiaire d'un levier, il sera possible, par suite, de faire varier le tirage de manière à ramener la combustion au degré d'activité voulu pour que la pression se rétablisse à sa valeur normale.

Economiseur Belleville. — L'économiseur réchauffeur d'eau d'alimentation Belleville est formée d'éléments tubulaires analogues à ceux des générateurs. Ces éléments sont raccordés à deux collecteurs, le collecteur inférieur

dans lequel arrive l'eau d'alimentation et le collecteur supérieur, d'où part le tuyau qui amène l'eau d'alimentation à l'épurateur du générateur.

Entre les deux faisceaux tubulaires, l'un vaporisateur, faisant partie de la chaudière proprement dite, et l'autre,

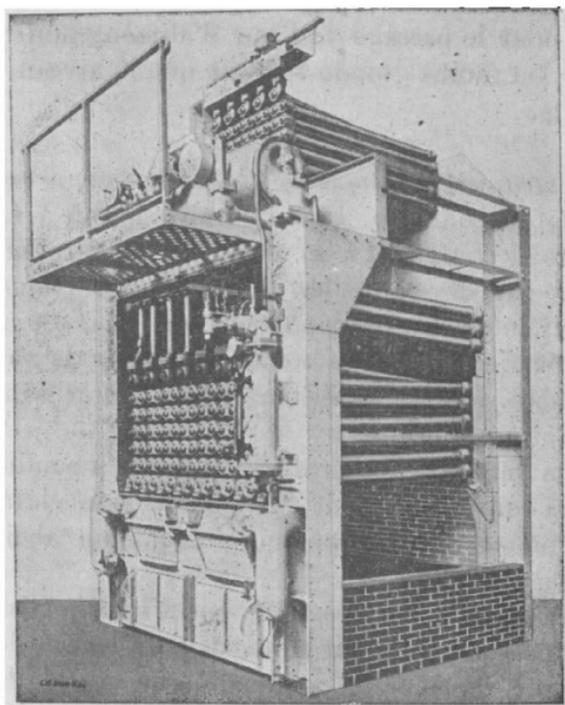


Fig. 49. — Chaudière Belleville avec économiseur.

économiseur, se trouve une chambre de mélange et de combustion dans laquelle les parties combustibles restant dans les gaz peuvent se mélanger à l'air pour donner lieu à une combustion complète des gaz du foyer et recueillir ainsi toute la chaleur utilisable de celui-ci.

Caractéristiques de la chaudière Belleville munie d'un économiseur. — Le coefficient de vaporisation et la vaporisation spécifique varient avec l'activité de la combustion.

Pour une activité de combustion de 70 kilogrammes, le coefficient de vaporisation atteint $10^{ks},500$, et la vaporisation spécifique, 33 kilogrammes par mètre carré de surface de tubes.

Pour une combustion de 175 kilogrammes par mètre carré de surface de grille, le coefficient de vaporisation n'est plus que de $9^{ks},500$, mais la puissance de vaporisation spécifique dépasse 70 kilogrammes par mètre carré de surface de tubes.

CHAPITRE XIII

CHAUDIÈRES A PETITS TUBES D'EAU

CHAUDIÈRES A TUBES DÉBOUCHANT DANS LE CORPS SUPÉRIEUR

70. **Considérations générales.** — Cette catégorie de chaudières appelées « chaudières express », dans laquelle se rangent les chaudières Normand, Du Temple, (fig. 53) d'Allest, Yarrow, Thornycroft (fig. 51 et 52), se

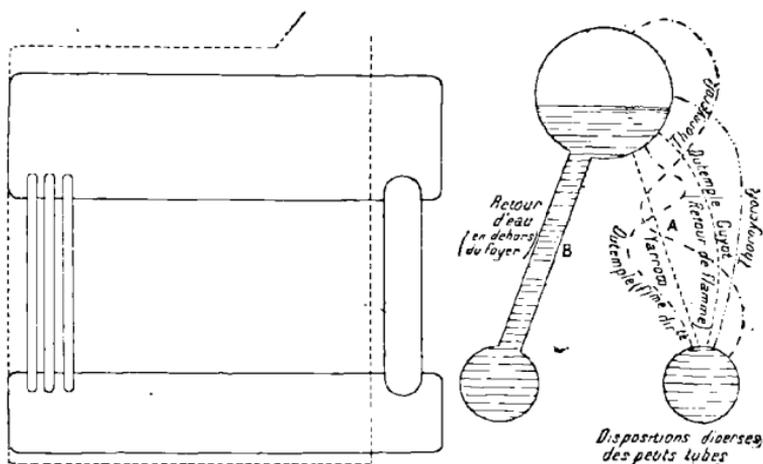


Fig. 50. — Chaudières à petits tubes d'eau.

caractérisent par une vaporisation très rapide et une très grande puissance de vaporisation spécifique.

Aussi ces chaudières sont-elles préférées aux chaudières

à gros tubes d'eau dans toutes les applications où la rapidité de mise en pression présente un intérêt capital ; dans les applications aux torpilleurs par exemple.

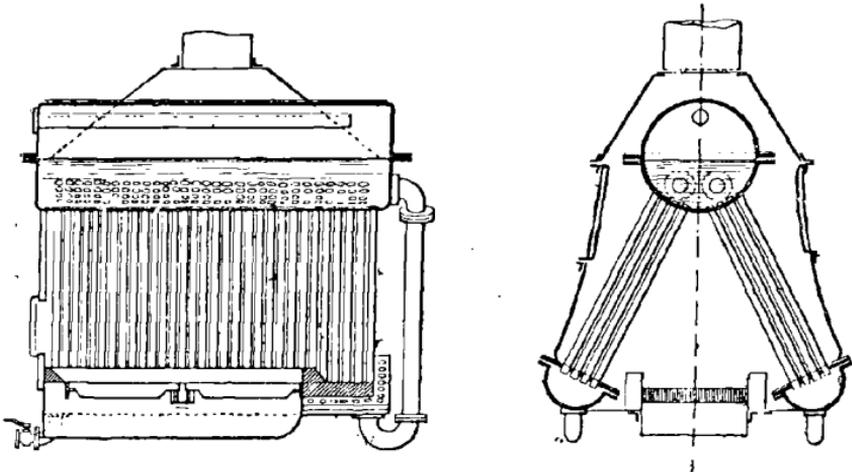


Fig. 51. — Chaudière Yarrow.

Elles ont aussi un très grand intérêt pour les applications où il est nécessaire d'avoir une grande puissance de vaporisation sous un volume relativement faible.

Dans ces chaudières, la vaporisation spécifique atteint 25 à 30 kilogrammes par mètre carré. Ces générateurs sont constitués par un faisceau de petits tubes d'eau, traversé par les flammes du foyer, aboutissant d'une part à des bouilleurs inférieurs placés au niveau de la grille et, d'autre part, à un corps supérieur qui tient lieu aussi de réservoir de vapeur.

Les faisceaux de petits tubes règnent sur toute la longueur des bouilleurs inférieurs et du corps cylindrique supérieur.

Leur forme dépend de celle des tubes qui les composent, elle diffère suivant les types de chaudières (fig. 50).

Les foyers, leurs dispositions et le trajet des flammes qu'elles donnent sont également appropriés à la forme et à la disposition des tubes de la chaudière à laquelle ils se rapportent.

Ces tubes débouchent au-dessus ou au-dessous du plan d'eau, suivant les systèmes. Cette particularité ne paraît pas avoir une importance sérieuse au point de vue du fonctionnement et de la vaporisation.

Les bouilleurs inférieurs manquent quelquefois, les tubes sont alors recourbés, ils partent d'un corps cylindrique pour aboutir à un autre corps mis en relation avec le premier, ou bien ils aboutissent à la partie supérieure du même corps.

Dans certains types, les deux branches sont soumises à l'action du foyer (chaudière. Grille à tuyères Solignac).

Dans d'autres, une seule branche est chauffée directement, l'autre sert de retour et favorise la circulation dans l'élément.

Dans les chaudières à petits tubes d'eau, la circulation a lieu du bouilleur inférieur au réservoir supérieur ; et, dans celui-ci, de l'avant vers l'arrière, lorsque le générateur ne comporte qu'un seul retour.

Lorsque le générateur possède deux retours, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, la circulation forme plusieurs circuits, associés en quantité, par le corps supérieur et les bouilleurs inférieurs.

Dans ce genre de chaudières, une bonne circulation est subordonnée aux soins apportés à la conduite du feu.

Une combustion trop active, faite au moment où la

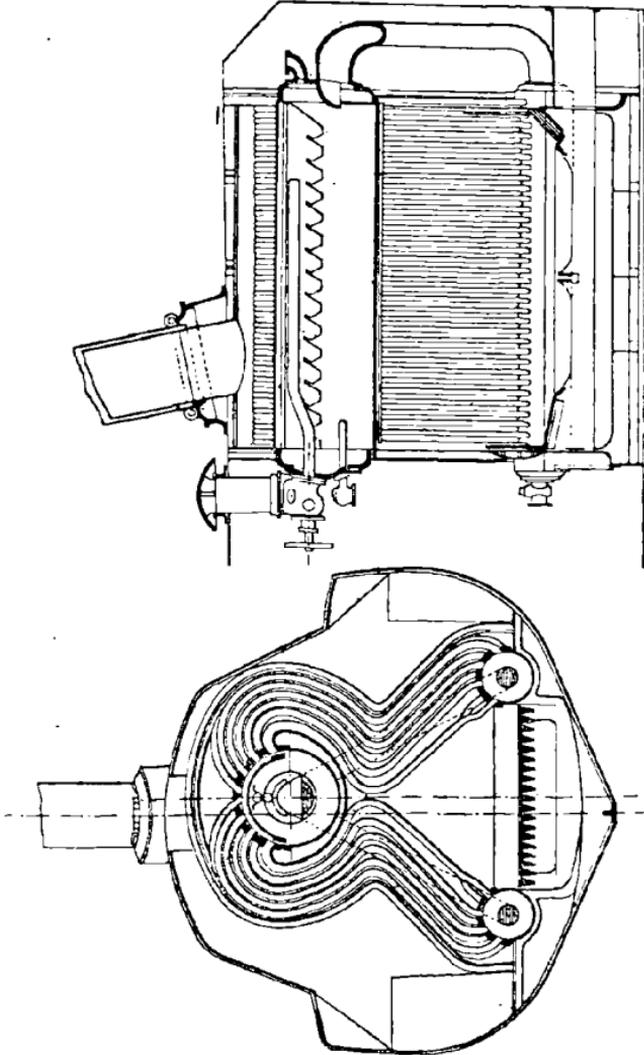


Fig. 52. — Chaudière Thornycroft.

chaudière n'a pas à produire une grande quantité de va-

peur, peut avoir pour effet de provoquer la formation de poches de vapeur qui entravent la circulation et occasionnent des dégagements tumultueux de vapeur.

Cette vaporisation agitée produit de la vapeur très humide.

Les chaudières à petits tubes d'eau sont plus difficiles à construire et à réparer que les chaudières à gros tubes. Leur conduite et leur entretien nécessitent aussi plus de soins. La faible section de leurs tubes les expose à des obstructions, aussi les alimente-t-on, le plus souvent, avec des eaux préalablement épurées ou même distillées.

Lorsqu'on les alimente avec des eaux calcaires, le détartrage doit se faire très souvent : l'opération consiste à chauffer les tubes presque jusqu'au rouge pour effriter le tartre, puis d'expulser les débris au moyen d'un jet de vapeur.

Enfin, ces chaudières, comportant un très grand nombre de petits tubes placés sur le trajet du courant gazeux allant à la cheminée, ne peuvent se satisfaire d'un tirage naturel, et il est indispensable de leur appliquer le tirage forcé.

71. Chaudière « Du Temple » à flamme directe. —

La chaudière *Du Temple* est une chaudière à petits tubes d'eau. Elle est constituée par un collecteur supérieur relié à deux collecteurs inférieurs placés de chaque côté de la grille, par deux faisceaux de tubes de petit diamètre débouchant dans le collecteur au-dessous du plan d'eau et par de gros tubes de retour placés aux extrémités de la chaudière (fig. 53).

L'eau remplit les tubes et les collecteurs inférieurs. Le collecteur supérieur est rempli jusqu'au tiers environ.

Les petits tubes étant seuls exposés au feu, il s'y produit dès l'allumage un courant ascendant dû à la différence de température entre l'eau qu'ils contiennent et celle des tuyaux de retour.

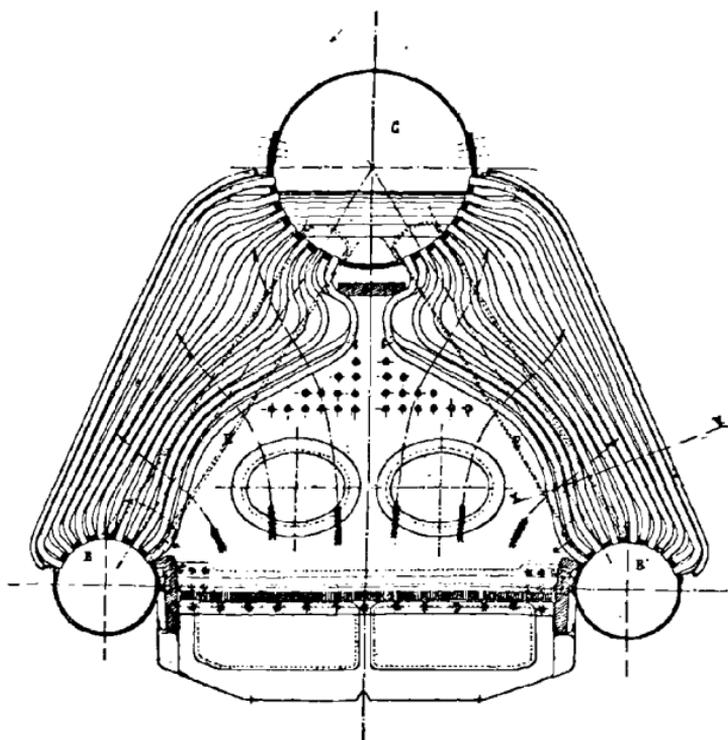


Fig. 53. — Chaudière Du Temple (torpilleurs).

La circulation se produit sous l'action de la différence de charge due à cette différence de température, jusqu'au moment où l'eau des petits tubes, étant suffisamment chauffée, émet des bulles de vapeur. Ces bulles produisent dans les tubes un mouvement d'entraînement de

l'eau qui donne naissance à une circulation excessivement active.

Quand le régime de chauffe est établi, les orifices supérieurs des tubes déversent continuellement dans le collecteur supérieur un mélange d'eau et de vapeur, en même temps qu'il entre par les orifices intérieurs une quantité d'eau équivalente, remplacée dans les collecteurs inférieurs par une même quantité amenée du collecteur supérieur par les tuyaux de retour.

La circulation qui s'établit dans la chaudière a pour effet de rafraîchir continuellement les surfaces soumises à l'action du feu, et de leur assurer une longue durée; elle augmente aussi, dans une très grande proportion, la puissance de vaporisation spécifique du générateur; enfin, elle rend la mise en pression très rapide.

La sécurité offerte par ce genre de chaudière est beaucoup plus grande que celle des types à grand volume d'eau ou même à gros tubes d'eau; cela tient à ce que l'explosion d'un tube ne peut donner lieu, étant donné le faible diamètre de celui-ci, qu'à un flux de vapeur insuffisant pour produire un accident grave. Les collecteurs n'étant pas soumis à l'action du feu ne courent aucun risque d'avarie sérieuse.

Grâce à la rapidité de la circulation dans les tubes vaporisateurs, les dépôts ont peu de tendance à s'y former. Ils sont entraînés par le courant général jusqu'à ce qu'ils parviennent à une région plus calme où les boues peuvent se déposer.

L'eau prenant une vitesse beaucoup plus faible dans les collecteurs inférieurs que dans les tubes, c'est dans ces collecteurs que se produisent les dépôts. L'ouverture d'un robinet de purge permet de les expulser au dehors.

La surface d'évaporation dans le collecteur supérieur étant relativement grande, le dégagement de vapeur n'est pas tumultueux et la vapeur produite est sèche.

Caractéristiques de la chaudière « Du Temple ». — Les caractéristiques de cette chaudière, qui est très employée à bord des torpilleurs en France et en Russie, sont les suivantes :

Pour une activité de combustion de 270 kilogrammes par mètre carré de surface de grille et par heure, correspondant à une pression de 35 millimètres d'eau de tirage forcé, le coefficient de vaporisation est de 8 kilogrammes de vapeur par kilogramme de charbon, et la vaporisation spécifique de 60 kilogrammes environ par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Pour une activité de combustion de 120 kilogrammes par mètre carré-heure, correspondant à une pression de 2 millimètres d'eau dans la chambre de combustion, le coefficient de vaporisation est de 10 et la vaporisation spécifique de 20.

Ces résultats montrent que pour une combustion relativement lente, le charbon est beaucoup mieux utilisé que pour une combustion très active ; mais que, par contre, la vaporisation spécifique est beaucoup moindre, tout en étant comparable cependant à celle des chaudières à gros tubes.

Chaudière Du Temple-Guyot. — Cette chaudière, dont le modèle a été adopté pour les appareils évaporatoires du croiseur « Jeanne d'Arc » de 28 000 chevaux et pour ceux d'autres croiseurs du même type, ne diffère pas sensiblement par son aspect extérieur de la chaudière Du Temple à flamme directe, mais la disposition du faisceau tubulaire est différente.

Les deux premières séries de tubes (les plus rapprochées du feu) sont constituées par des tubes à facettes, amenés au contact sur toute la longueur, et formant ainsi une voûte de chaque côté du foyer.

A l'extrémité arrière du faisceau, les tubes de première et deuxième série s'écartent, et dans quelques cas sont supprimés, pour laisser un passage aux gaz. Ceux-ci sont obligés de parcourir toute la longueur du foyer en léchant les parois de la voûte centrale avant de s'engager dans le faisceau tubulaire qu'ils doivent traverser pour aller dans la cheminée, placée à l'avant de la chaudière.

Cette chaudière est donc à retour de flammes.

Des insufflations d'air par les façades permettent un brassage énergique des gaz, et préviennent les extinctions qui pourraient se produire à l'entrée du faisceau tubulaire.

La forme simple et uniforme des tubes tous cintrés au même rayon, est favorable à la circulation, et facilite aussi le décrassage des tubes.

Le grand volume attribué à la chambre de combustion permet d'obtenir un grand développement de la flamme et, par suite, une combustion aussi parfaite que possible.

Caractéristiques de la chaudière Du Temple-Guyot. — Pour une activité de combustion de 280 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure, correspondant à un tirage forcé de 63 millimètres d'eau, le coefficient de vaporisation est de 9 environ et la vaporisation spécifique de 45 kilogrammes.

72. Chaudière à tubes curvilignes, système Weyher et Richemond. Société des Anciens Établisse-

ments Weyher et Richemond, à Pantin (Seine). — Cette chaudière (fig. 54), qui est caractérisée par sa grande rapidité de mise en pression, a la forme extérieure d'une chaudière Field:

seulement elle diffère de cette dernière chaudière par la nature des éléments vaporisateurs. Ceux-ci sont constitués par des tubes curvilignes à plusieurs courbures, susceptibles de se dilater sans occasionner d'efforts nuisibles à la conservation de l'appareil, et en outre, de bien utiliser la chaleur du foyer dans lequel ils sont placés. Ces tubes mettent en communication l'intervalle annulaire compris entre le foyer et l'enveloppe extérieure et la région située au-dessous du plan d'eau de la chaudière. Il s'établit un circuit de circulation entre

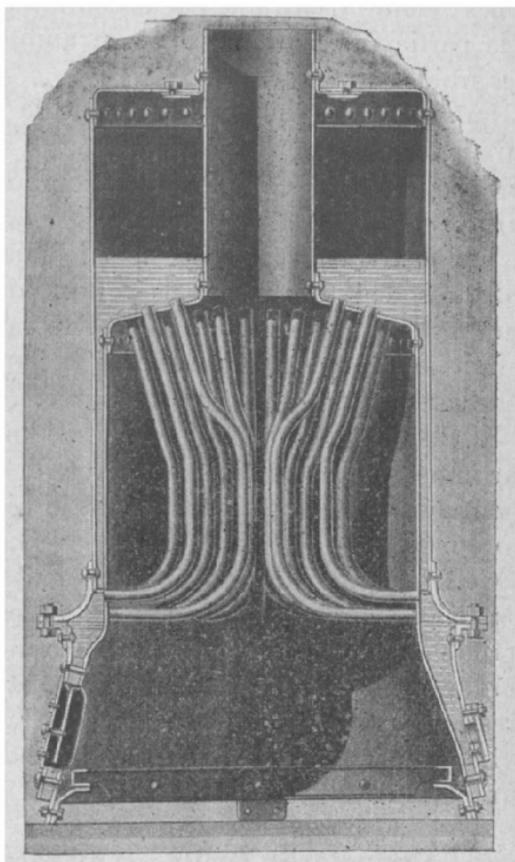


Fig. 54. — Chaudière à petits tubes d'eau, système Weyher et Richemond.

l'intervalle annulaire compris entre le foyer et l'enveloppe extérieure et la région située au-dessous du plan d'eau de la chaudière. Il s'établit un circuit de circulation entre

le débouché des tubes dans la plaque tubulaire, formant le ciel du foyer, et leur origine dans l'espace annulaire.

Cette circulation s'oppose au dépôt du tartre dans les tubes ; celui-ci, entraîné par le courant d'eau, se rassemble à la partie inférieure de l'espace annulaire dans les parties froides du foyer.

La section de passage des gaz de la combustion à travers le faisceau tubulaire a été étudiée de façon à obtenir une combustion complète du combustible brûlé sur la grille.

Les gaz traversent deux fois le faisceau de tubes et, entre ces deux traversées, ils passent dans la chambre de combustion, formée par la dernière rangée de tubes, où se fait le brassage des gaz et le mélange de l'air. Leur combustion parfaite est ainsi assurée.

La chaudière comporte, en outre, un sécheur constitué par une enveloppe cloisonnée percée de trous, entourant la cheminée. La vapeur circule dans le sécheur avant d'être employée.

Cette chaudière est particulièrement avantageuse pour toutes les applications où il est nécessaire d'avoir une grande puissance de vaporisation pour un poids de matière transportée relativement faible, et où une mise en pression rapide est indispensable.

Les applications aux pompes à incendie, aux tramways, aux bateaux de plaisance, à la marine, sont dans ce cas.

73. Chaudière « Grille » à tuyères Solignac ¹. — La chaudière Grille, est une chaudière à petits tubes d'eau basée sur un principe qui peut se formuler ainsi :

¹ Construits par M. Stofft à Paris.

« N'introduire par unité de temps dans les tubes vapo-
risateurs que la quantité d'eau qu'ils peuvent vaporiser
« dans cette même unité de temps. »

En appliquant ce principe on évite l'engorgement des tubes par de l'eau qui fait obstacle à une circulation active et on arrive ainsi à produire, avec un tirage naturel, grâce à la vaporisation rapide réalisée, 40 à 50 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe.

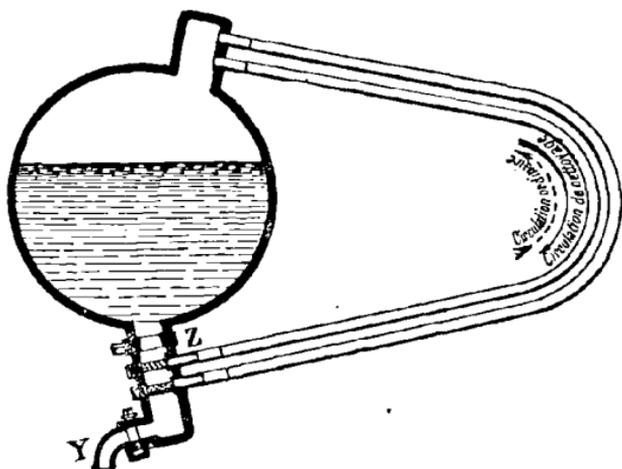


Fig. 55. — Circulation dans la chaudière Grille et Cie.

L'eau doit arriver en quantité relativement faible dans les éléments vaporisateurs ; un diaphragme à petite ouverture en règle le débit dans chacun d'eux.

Il est nécessaire, en outre, que la circulation se fasse dans un sens déterminé ; le même diaphragme, en créant une résistance supplémentaire à l'une des extrémités de l'élément, assure à la circulation un sens invariable car, d'après M. Solignac : « Dans les chaudières tubulaires,

« le dégagement de la vapeur produite à l'intérieur des
 « tubes se fait toujours du côté de la moindre résistance à
 « l'écoulement du fluide, et en prenant point d'appui
 « pour effectuer ce dégagement, sur la partie du liquide
 « qui présente la plus grande résistance à l'écoulement. »

Enfin, pour obtenir la meilleure utilisation possible du combustible, « il faut que la chaudière soit telle que l'augmentation de température n'ait pas pour effet de diminuer la valeur de la circulation ». Comme à une circulation et à une source de chaleur données correspond une surface de chauffe pour laquelle la température de régime est invariable, si on veut augmenter la source de chaleur pour augmenter le rendement en poids de vapeur produite du générateur, sans sacrifier le rendement en charbon, il faut également augmenter l'intensité de la circulation intérieure pour élever la chute de température correspondant à la même surface de chauffe.

Cette condition est réalisée automatiquement dans la chaudière Grille à tuyères Solignac.

Cette chaudière se compose de deux parties principales (fig. 55 et 56).

1° Un réservoir dans lequel se fait l'alimentation et d'où part la vapeur ;

2° Deux boîtes réunies par un faisceau tubulaire composé d'éléments vaporisateurs en forme d'U, l'une des branches étant sensiblement horizontale.

Le diaphragme Z (fig. 55) est au débouché du tube dans la boîte inférieure.

1° L'eau contenue dans le réservoir y séjourne jusqu'à ce qu'elle se rende dans les éléments vaporisateurs où elle est transformée en vapeur. Ce transport ne s'effectuant qu'au fur et à mesure du passage de l'eau dans les

tubes, et ceux-ci vaporisant à peu près toute l'eau qu'ils

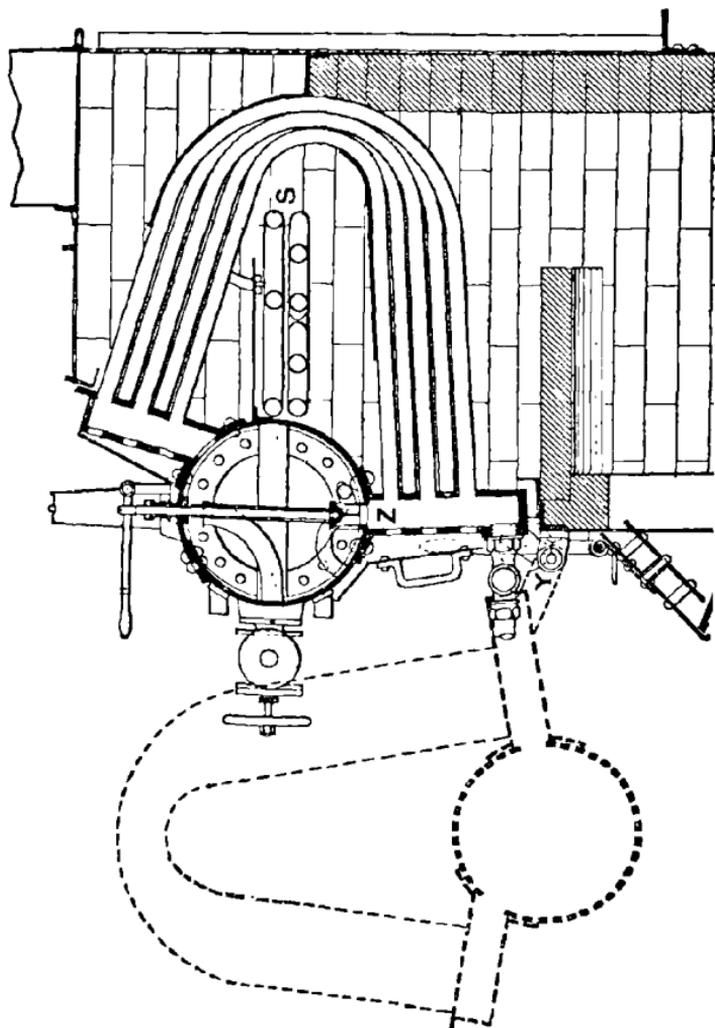


Fig. 56, — Chaudière Grille à tuyères Solignac,

reçoivent, il en résulte que l'eau du réservoir y séjourne assez longtemps pour qu'elle puisse prendre une tempéra-

ture supérieure à celle qui est nécessaire pour provoquer le dépôt des sels calcaires qu'elle contient.

La vapeur produite dans les tubes arrive à la partie supérieure du réservoir, au-dessus du plan d'eau de ce réservoir.

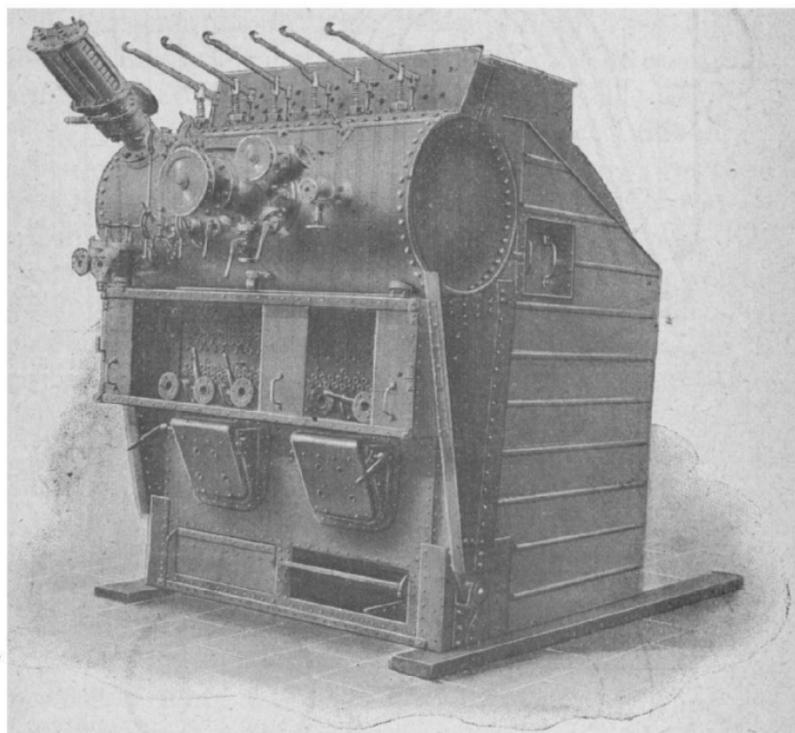


Fig. 57. — Chaudière Grille à tuyères Solignac.

Si la production de la vapeur est supérieure à la consommation la pression monte dans le réservoir, et la masse d'eau condense la vapeur jusqu'à ce que l'eau atteigne la température correspondant à la pression qui s'établit

dans cette enceinte. Si, au contraire, la production est inférieure à la consommation, la masse d'eau du réservoir joue le rôle de volant régulateur de chaleur, la pression s'abaisse et l'eau émet spontanément de la vapeur pour rétablir la pression correspondant à la température de cette masse d'eau.

C'est l'application d'un principe analogue à celui des chaudières sans foyer : lorsque la production est supérieure à la consommation, l'appareil fonctionne comme une chaudière sans foyer recevant sa provision de chaleur à l'usine génératrice ; lorsque la consommation est supérieure à la production, l'appareil fonctionne comme une chaudière sans foyer fournissant de la vapeur aux appareils d'utilisation.

2° Le faisceau tubulaire comprend un nombre de tubes en rapport avec la puissance de vaporisation à obtenir pour le poids de charbon brûlé sur la grille. Ces tubes ont un diamètre de 25 millimètres, ils aboutissent à leurs extrémités aux boîtes situées au-dessous et au-dessus du réservoir.

L'extrémité de la branche inférieure de chaque tube débouchant dans l'eau de la boîte inférieure est munie d'une tuyère partant du diaphragme percé d'un petit trou.

Quand on chauffe les tubes, il se forme dans les branches inférieures une poche de vapeur qui tend à chasser par les deux extrémités du tube l'eau qui s'y trouve. Mais, comme le diaphragme représente une résistance à l'écoulement supérieure à celle du coude formé par l'U du tube et de la branche supérieure, l'eau s'écoule du côté le moins résistant, et les tubes se purgent dans la boîte supérieure.

Lorsque les tubes se trouvent libres, la pression s'équi-

libre entre la vapeur de la boîte supérieure et celle des tubes. L'eau pénètre alors dans ces tubes sous la seule action de la pesanteur, et comme elle ne peut entrer que par la petite ouverture du diaphragme, elle ne pénètre qu'en très petite quantité.

Cette eau est immédiatement transformée en vapeur et les phénomènes ci-dessus décrits se reproduisent à de très courts intervalles en produisant dans les tubes une succession de minces filets de vapeur donnant lieu à une circulation continue de la boîte inférieure vers la boîte supérieure.

Le dégagement de la vapeur n'étant pas gêné, il se produit dans toute l'étendue de la surface d'évaporation.

Les tubes ont donc une tendance à se refroidir en fournissant la chaleur nécessaire à cette évaporation.

Les tuyères au moment du refoulement de l'eau produisent un point d'appui à la vapeur qui tend à les faire sortir des tubes ; aussi sont-elles maintenues dans les tubes par des manchons perforés solidaires des bouchons qui sont placés en regard de chaque extrémité du tube. Ces bouchons servent à la visite et au nettoyage.

Le manchon perforé est utilisé comme crépine pour arrêter les corps étrangers qui pourraient se coincer dans les diaphragmes. Quant aux autres obstructions par entartrages, elles ne sont pas à craindre, le mouvement de recul que subit la tuyère assurant le nettoyage automatique du diaphragme placé en son centre.

Les faisceaux tubulaires sont fractionnés en éléments pouvant produire 400 kilogrammes de vapeur à l'heure. Les différents types, correspondant à des puissances de vaporisation qui progressent de 400 en 400 kilogrammes, sont réalisés par la juxtaposition de plusieurs éléments type.

La conduite et l'entretien de la chaudière « Grille » ne

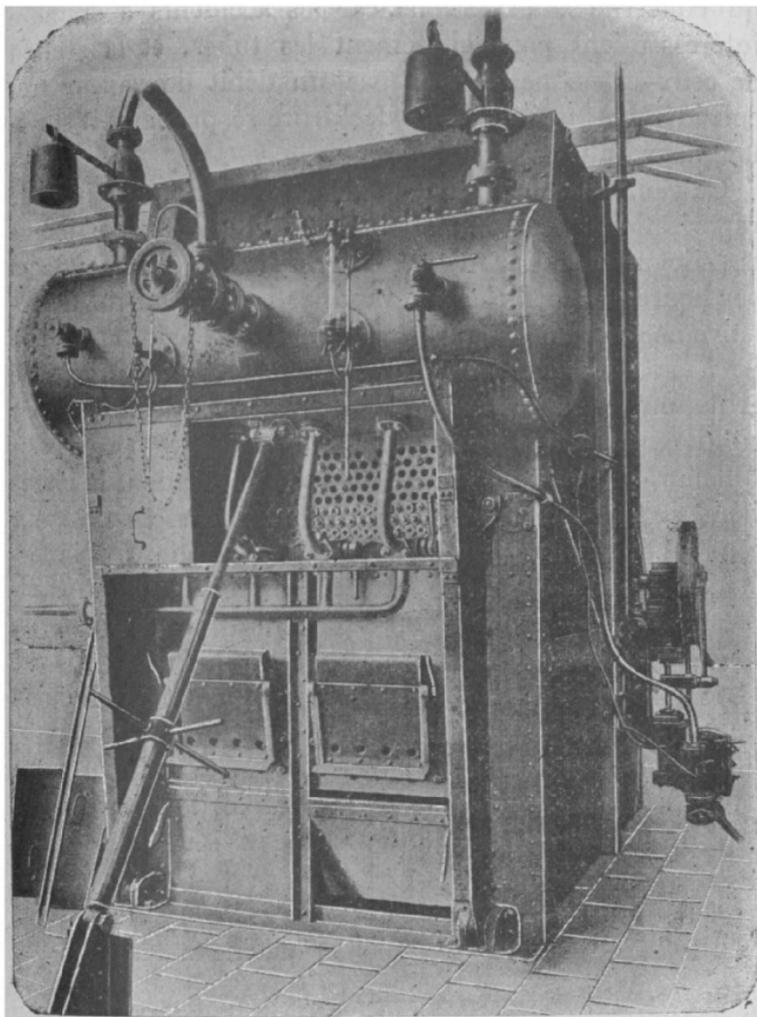


Fig. 58. — Chaudière Grille à tuyères Solignac.

présentent aucune difficulté. Comme la plupart des chau-

dières à petits tubes, elle offre une grande sécurité en ce qui concerne les explosions, car les accidents à craindre intéresseraient particulièrement les tubes, et la section de ceux-ci ne permettrait pas un débit de vapeur très considérable, même si une déchirure se propageait sur la longueur du tube dégradé.

Ce genre de chaudière a une très grande puissance de vaporisation spécifique; celle-ci peut atteindre 60 et même 80 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Le coefficient de vaporisation est lui-même relativement grand et, pour une activité de combustion de 80 à 100 kilogrammes par mètre carré de surface de grille, on obtient presque 10 kilogrammes de vapeur par 10 kilogrammes de charbon.

Enfin, la possibilité de nettoyer complètement la chaudière en marche en provoquant une chasse de vapeur dans les éléments (par l'ouverture de la vanne Y et la fermeture de la soupape Z) permet l'emploi d'eaux très riches en sels et, en particulier, l'utilisation de l'eau de mer mélangée à des eaux douces (fig. 56).

Le nettoyage extérieur se fait en basculant tout le faisceau tubulaire.

La chaudière Grille à tuyères Solignac comporte un foyer particulier dans lequel la fumivortité est obtenue grâce au grand volant calorifique que possède la chambre de combustion.

Ce genre de chaudière se fait pour des installations fixes, ainsi que pour des applications à la marine et à la traction.

CHAPITRE XIV

CHAUDIÈRES A PETITS TUBES D'EAU

CHAUDIÈRES A TUBES DE RETOUR

74. **Considérations générales.** — Les chaudières *Turgan, Field, Montupet*, etc., appartiennent à cette catégorie.

On peut la subdiviser en deux genres principaux :

le genre Field à éléments verticaux (fig. 59 et 59 bis) ;

le genre Turgan à éléments légèrement inclinés par rapport à la verticale (fig. 61).

La chaudière *Field* présente quelques inconvénients au point de vue de la circulation.

Le tube étant chauffé par le culot est le siège de deux courants de vapeur qui se contrarient, l'un provient de la circulation et passe du tube intérieur à l'espace annulaire qui l'entoure, il est central et descendant ; l'autre ascendant, tend également à se former au centre, aux environs du débouché du tube intérieur dans le culot, par l'effet de la vaporisation de l'eau dans cette partie.

La circulation se trouve donc entravée au point A par suite d'une accumulation de vapeur en ce point.

On y remédie en organisant les chaudières de manière que les flammes atteignent plutôt les parois latérales des éléments que le culot.

Si ce résultat est obtenu en inclinant les tubes dans le foyer et en laissant la flamme verticale, on arrive à la conception de la chaudière *Turgan*.

Si on dévie le jet de flammes au moyen d'une chicane,

on a la chaudière Field actuelle. Si on adopte une chicane obligeant la flamme à lécher des tubes pour se rendre à la cheminée, placée elle-même au-dessous du foyer, on réalise la *chaudière Mathian à flamme renversée*.

Dans ces dispositifs, l'inconvénient signalé ci-dessus est atténué, et la vapeur peut se dégager dans l'intervalle annulaire que forment les deux tubes de l'élément pour constituer un circuit de circulation complet.

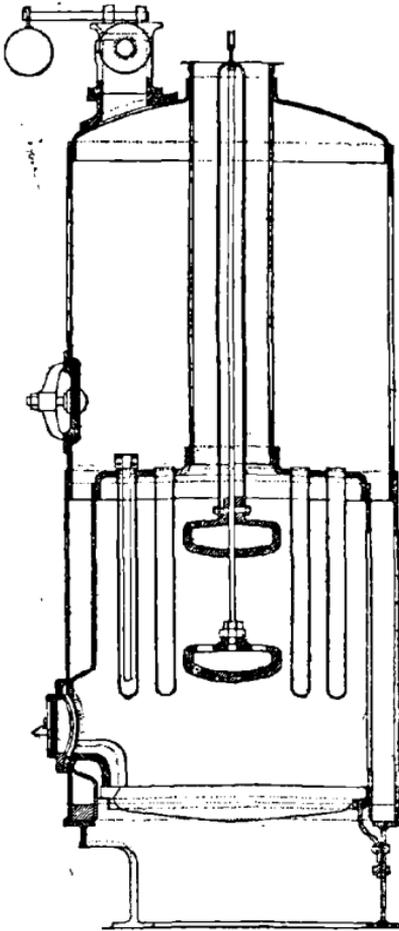


Fig. 59. — Chaudière Field.

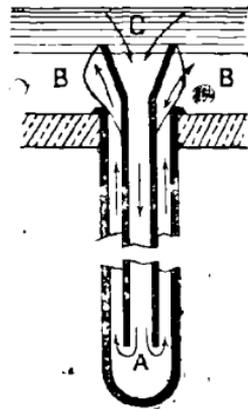


Fig. 59bis.

L'élément Field a un autre inconvénient :
Le jet de vapeur à sa sortie du tube, en B, gêne le mou-

vement du filet d'eau qui entre dans le tube central en C.

Dans la chaudière Montupet à tubes Field on a cherché

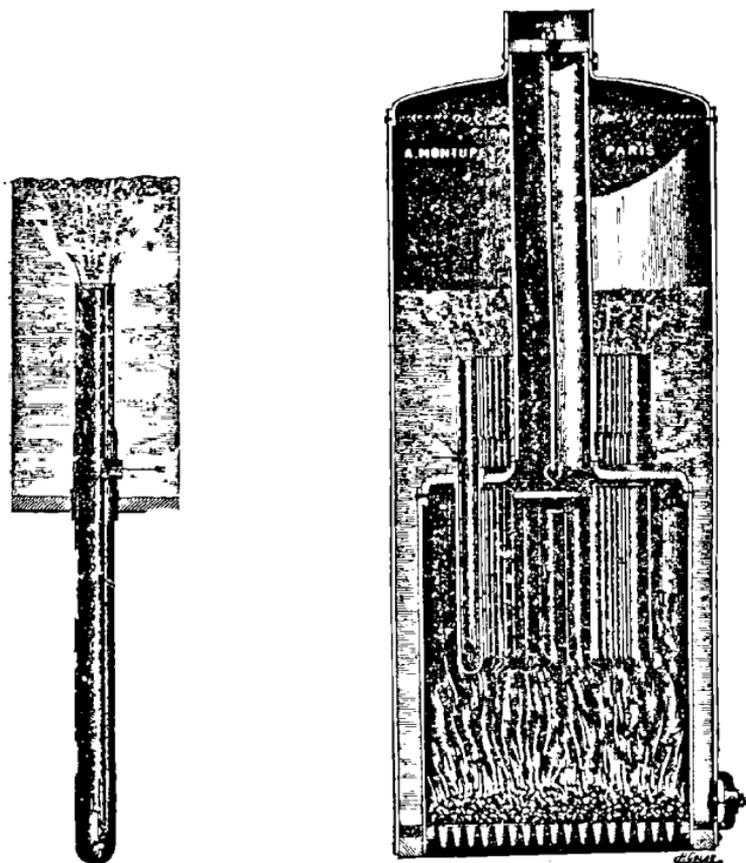


Fig. 60. — Chaudière Montupet.

à remédier à ce dernier inconvénient en faisant entrer l'eau froide dans le tube par sa partie latérale (fig. 60).

75. **Chaudière Turgan** (Etablissements Turgan et Foy à Levallois-Perret). — La chaudière Turgan a comme éléments vaporisateurs des tubes genre Field. Ces tubes inclinés de 30° environ par rapport à la verticale sont groupés en deux faisceaux de 5 à 6 rangées parallèles placés de part et d'autre du foyer, ils débouchent dans un corps cylindrique horizontal parallèle au foyer.

La disposition inclinée des tubes présente sur celle de la chaudière Field l'avantage de ne pas avoir l'extrémité des tubes en plein feu et, sur les chaudières à tubes presque horizontaux, celui d'avoir une circulation beaucoup plus active, par suite de la grande facilité avec laquelle la vapeur se dégage d'éléments très inclinés.

Dans cette chaudière, la circulation est très active; l'alimentation de l'élément se fait exclusivement par le centre et proportionnellement à la quantité d'eau qui est vaporisée dans l'intervalle formé par les tubes extérieur et intérieur.

La vapeur formée ne traverse plus l'eau relativement froide du générateur, et il ne se produit pas d'entraînement d'eau; la chaudière fournit de la vapeur sèche.

Comme les tubes sont tenus seulement par leur extrémité supérieure, il s'ensuit que les dilatations sont absolument libres et qu'ils n'éprouvent pas de fatigue, même aux plus hautes intensités de chauffe.

Les tubes sont droits, fermés par des bouchons; leur nettoyage est donc très facile, et il peut se faire sans qu'il soit nécessaire de les démonter. Le tube intérieur est en laiton, le tube extérieur en acier.

Pour provoquer une circulation des gaz chauds autour des tubes, on ménage des écrans de tubes convenables à l'intérieur du foyer.

M. Turgan a établi trois séries d'appareils évaporatoires :

les générateurs de marine ;

les générateurs fixes ;

les générateurs pour la traction.

Générateurs de Marine. — Les générateurs de marine affectent plusieurs formes suivant leur destination ; si les appareils sont de faibles dimensions et embarqués sur des canots ou des vedettes, le collecteur peut être en acier moulé et en deux pièces. De cette façon, les démontages offrent la plus grande facilité. Mais on peut également construire le collecteur en tôle et fermer la face avant par un fond entièrement démontable.

Quand les dimensions le permettent, on dispose seulement un autoclave donnant accès à l'intérieur du collecteur. Pour les chaudières de puissance inférieure à 2 000 kilogrammes à l'heure il n'y a qu'un seul foyer, tandis que les générateurs de 5 000 kilogrammes ont deux chambres de combustion et, par suite, deux foyers séparés par des rangées de tubes verticaux chauffés par rayonnement, on obtient ainsi un grand accroissement de surface de chauffe et une vaporisation intense.

Les modèles de 200 et 350 mètres carrés de surface de chauffe comportent trois foyers. Ces générateurs peuvent être très facilement substitués aux plus grandes chaudières à tubes de fumée des transatlantiques. Cette substitution peut même être réalisée sans aucune modification dans le plan des navires. Les soutes, les chambres de chauffe, les cheminées, les ventilateurs, subsistent dans leurs dispositions primitives.

Ce genre de générateurs se prête également bien à la

disposition en double façade, qui a son intérêt dans les applications spéciales à la marine.

Les générateurs de bateaux de commerce sont établis sur le même modèle que ceux destinés aux navires, sauf en ce qui concerne le collecteur qui est d'un plus grand diamètre, et offre ainsi un plus grand volant d'eau.

Pour les générateurs destinés aux colonies, le collecteur supérieur est remplacé par deux collecteurs parallèles qui correspondent respectivement à chacun des faisceaux tubulaires. On obtient ainsi une grille assez large pour qu'il soit possible d'y brûler du bois, et l'ensemble de l'appareil peut se fractionner en colis de moins de 100 kilogrammes, faciles à transporter dans tous les terrains.

Enfin, ces chaudières ont la propriété de pouvoir supporter sans grand inconvénient l'alimentation à l'eau de mer. La grande rapidité de la circulation empêche les dépôts de se former dans les tubes, et il suffit de faire des extractions dans le grand collecteur et dans le collecteur intérieur. Les tubes de ce modèle sont de fort diamètre et disposés seulement suivant une ou deux rangées de chaque côté du foyer.

Générateurs fixes. — Ces générateurs ont les mêmes dispositions générales que les générateurs type marine, cependant l'ensemble de la construction est plus simple, et le retour de flammes est obtenu par des moyens différents (fig. 61).

Le plus souvent, les tubes sont simplement tenus dans la plaque tubulaire par un cône légèrement forcé et leur extrémité inférieure est fermée, mais rien ne s'oppose à ce que les tubes soient organisés comme ceux des chaudières

marines, c'est-à-dire soient fermés par une plaque vissée à leur extrémité.

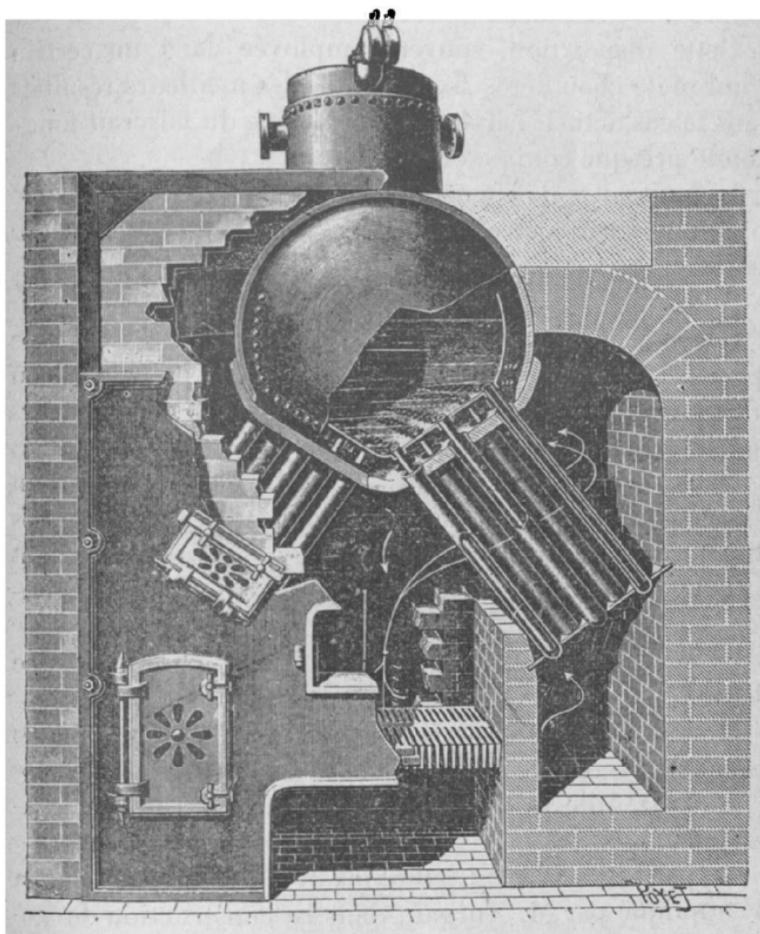


Fig. 61. — Chaudière Turgan.

Le faisceau tubulaire est partagé dans le sens de la longueur par un mur transversal qui limite la grille et

force les gaz à parcourir la première partie du faisceau pour revenir traverser la seconde moitié avant de se rendre à la cheminée.

Cette disposition, souvent employée dans un certain nombre de chaudières fixes, donne les meilleurs résultats dans le cas actuel, car la partie arrière du faisceau fonctionne presque comme économiseur.

La puissance de vaporisation spécifique dépasse 25 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Générateurs pour la traction mécanique. — Ce type spécial de générateur est à chargeur central pour le cas où le défaut de place ne permet pas d'utiliser les générateurs de canot.

Dans un collecteur vertical et cylindrique, percé d'un chargeur central, viennent déboucher des tubes, disposés en couronne, et formant des carneaux circulaires qui sont parcourus par les gaz avant leur évacuation à la cheminée.

Ce type de générateur pourrait être assimilé à une chaudière Field à retour de flammes.

Des tubes pendentifs peuvent être disposés dans le foyer ; mais, dans ce cas, les tubes intérieurs sont fermés à leur extrémité inférieure, et des trous sont ménagés latéralement.

Ce perfectionnement, combiné avec l'écran intérieur, a été appliqué par M. Turgan, dans la construction de générateurs genre Field, dans lesquels la virole circulaire est remplacée par une ligne de tubes écrans qui se touchent suivant une génératrice.

76. Générateur en X système Borrot (fig. 62).— Cette chaudière comprend un réservoir cylindrique supérieur sur lequel des collecteurs viennent s'assembler sui-

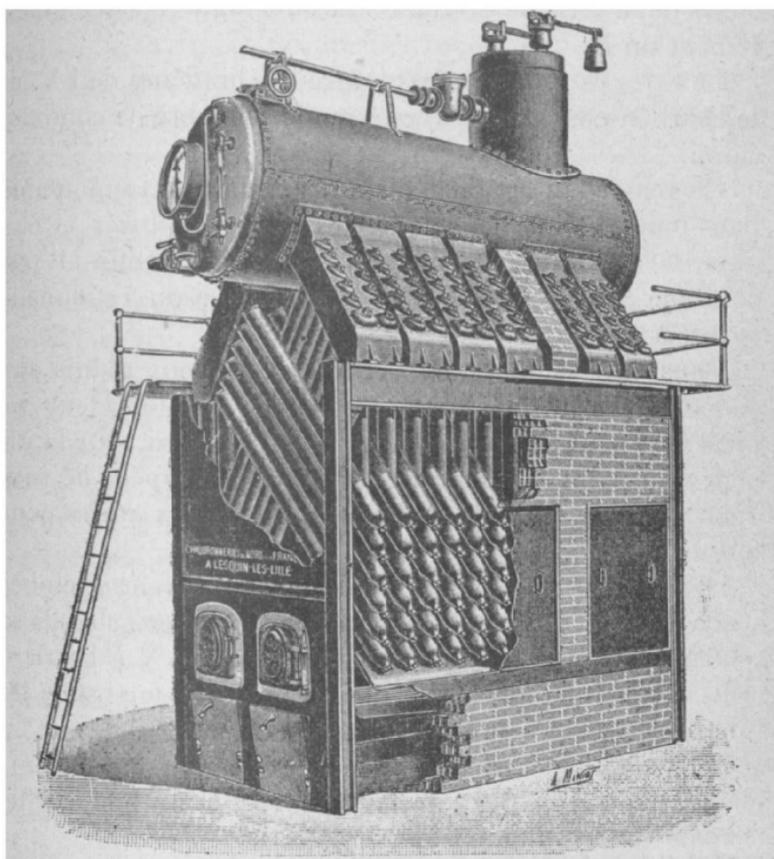


Fig. 62. — Chaudière en X, système Borrot.

vant deux arêtes latérales symétriques, disposition qui permet de multiplier beaucoup le nombre des collecteurs.

Les tubes vaporisateurs sont du type Field ; ils s'as-

semblent perpendiculairement dans la paroi inférieure des collecteurs par bague tronconique autoclave; les tubes de la série de gauche se croisent respectivement avec les tubes de la série de droite, de façon à figurer assez exactement un X.

Le foyer est placé en bas, entre les branches de l'X, et le charbon possède ainsi une grande chambre de combustion.

Ce générateur est facilement démontable et remontable dans toutes ses parties; il est très facile à nettoyer et occupe le minimum de surface horizontale; enfin, il est combiné pour donner à l'eau une circulation rationnelle et intensive.

Dans la chaudière en X, les tubes sont réunis aux collecteurs par des joints autoclaves. Le collecteur ne présente aucun étranglement ni pour l'eau, ni pour la vapeur; au point de jonction, les bulles de vapeur ne sont donc pas obligées de se souder les unes aux autres pour former de grosses bulles.

Dans la branche supérieure de l'X se trouvent des tubes surchauffeurs sécheurs de vapeur, puis, les gaz chauds se rendent dans une seconde série de tubes en X à l'arrière et ils donnent ce qui leur reste de chaleur à une série de tubes réchauffeurs de l'eau d'alimentation.

Le générateur assure ainsi une utilisation aussi complète que possible des calories du foyer, et un bon coefficient de vaporisation.

La chaudière en X a une circulation active et régulière qu'elle tient de l'inclinaison donnée à ses tubes vaporisateurs; les bulles de vapeur cheminent en anneaux complets dans l'intervalle compris entre les tubes d'un même élément. Il en résulte un énergieque appel d'eau, relative-

ment froide, par le tube central et une circulation intensive s'établit dans les éléments. En même temps, cette circulation entretient le tube dans un parfait état de propreté.

Par la disposition spéciale de son faisceau tubulaire, la chaudière en X laisse entre les tubes et le foyer une grande chambre de combustion qui permet de pousser sans inconvénient l'allure des feux par l'emploi du tirage forcé.

Les flammes pénètrent facilement entre les rangées de tubes pour cheminer ensuite dans le sens de leur longueur.

Puis, à l'intersection des branches de l'X, le rétrécissement formé oblige les gaz à prendre un contact intime avec les tubes en favorisant la propagation de la chaleur aux surfaces de chauffe.

L'enchevêtrement des tubes produit ainsi des remous qui brassent les gaz, et favorisent leur complète combustion.

La grande inclinaison des tubes empêche la suie d'adhérer sur leur surface.

La chaudière en X donne, à l'origine du collecteur, une section de passage suffisante pour que le dégagement de vapeur ne soit pas tumultueux. De plus, des écrans intérieurs obligent les gouttelettes d'eau qui pouvaient être entraînées à retomber dans le liquide. Enfin, le réservoir supérieur a un plan d'eau très étendu, ce qui évite les entraînements.

Un surchauffeur sécheur logé dans la partie supérieure de l'X améliore encore le degré de siccité de la vapeur produite.

Lorsque la chaudière comporte un réchauffeur d'eau d'alimentation, cet appareil se place dans la branche arrière de l'X avant le départ des gaz vers la cheminée.

Ce réchauffeur est composé d'une batterie de tubes Field horizontaux en quinconce montés sur un chariot en fer. L'eau entre par la partie basse et circule méthodiquement dans plusieurs tubes avant d'aller à la chaudière.

L'entrée et la sortie de l'eau sont réglées par des robinets à trois voies permettant l'alimentation directe du générateur. On peut alors faire sortir le réchauffeur par une porte registre spéciale et enlever les incrustations intérieures des tubes sans arrêter le fonctionnement de la chaudière.

L'économiseur est constitué par des tubes en fer; on les nickèle intérieurement et extérieurement pour éviter les corrosions habituelles. Protégés par le nickel, ces tubes ne gardent pas la suie qui tend à se déposer sur eux ce qui constitue un avantage au point de vue de la propagation de la chaleur.

Au sortir du réchauffeur, l'eau arrive dans un petit auget placé dans la chambre de vapeur, d'où elle déborde en prenant la température du milieu.

Les sels se précipitent; des chicanes les retiennent en arrière du réservoir, une purge permet de les extraire facilement.

La partie avant, soumise directement à l'action des gaz du foyer, ne reçoit que de l'eau décantée et purifiée. Les tubes étant parcourus par une circulation rapide de vapeur restent constamment propres.

Ces chaudières ont un coefficient de vaporisation et une puissance de vaporisation élevés.

77. Chaudière Mathian, type Field à flamme renversée. — Cette chaudière est constituée comme une chaudière Field ordinaire, seulement les flammes et les

gaz de la combustion, au lieu de s'échapper par une cheminée traversant la plaque tubulaire supérieure, circulent entre les tubes, redescendent autour du foyer en léchant une série de tubes plus longs que ceux qui sont directement placés au-dessus de la grille, et se rendent à la cheminée par une gaine située en dessous du foyer.

Par cette disposition, la flamme chauffe les tubes latéralement, et le dégagement de la vapeur étant ainsi favorisé, les entraînements d'eau ne sont pas à craindre : la vapeur produite est sèche.

De plus, la chaleur des gaz du foyer est mieux utilisée que dans la chaudière Field ordinaire, il en résulte une meilleure utilisation du combustible et une meilleure transmission de la chaleur aux

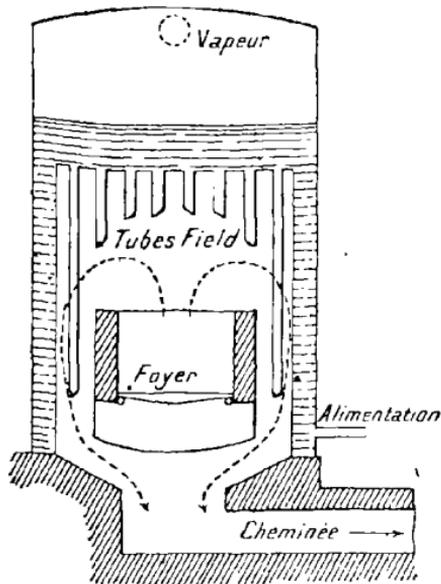


Fig. 63. — Chaudière Mathian.

tubes, c'est-à-dire une amélioration du coefficient de vaporisation et de la vaporisation spécifique.

La figure 63 représente une chaudière de ce genre.

CHAPITRE XV

CHAUDIÈRES A PETITS TUBES D'EAU A SERPENTIN

78. **Généralités.** — Les chaudières de cette catégorie comprennent des types désignés sous le nom de « chaudières à vaporisation instantanée ».

Elles sont généralement constituées par des tubes enroulés en serpentin et formant les parois d'un foyer, ou bien elles sont formées d'éléments à très petits tubes placés dans le foyer lui même.

Ces générateurs sont caractérisés par une mise en pression instantanée. Ils ont une très grande vaporisation spécifique. Leur inconvénient est d'avoir un très faible volant de pression par suite de la faible quantité d'eau qu'elles contiennent.

C'est dans les générateurs de cette catégorie que l'on trouve les générateurs de traction : les chemins de fer, les tramways, les automobiles les emploient maintenant d'une façon courante.

Pour ces applications dans lesquelles le poids mort transporté doit être réduit au minimum, le chauffage est fait souvent au pétrole lourd. Dans les cas où la fumivorté a seule de l'importance, par exemple dans la traction urbaine, on chauffe ces chaudières au coke.

Le type des générateurs de cette dernière catégorie est la chaudière Serpollet.

Chaudière Serpollet (fig. 64). — Cette chaudière comporte des tubes épais en fer, aplatis, laissant subsister à

l'intérieur un vide extrêmement mince dans lequel l'eau est injectée sous pression.

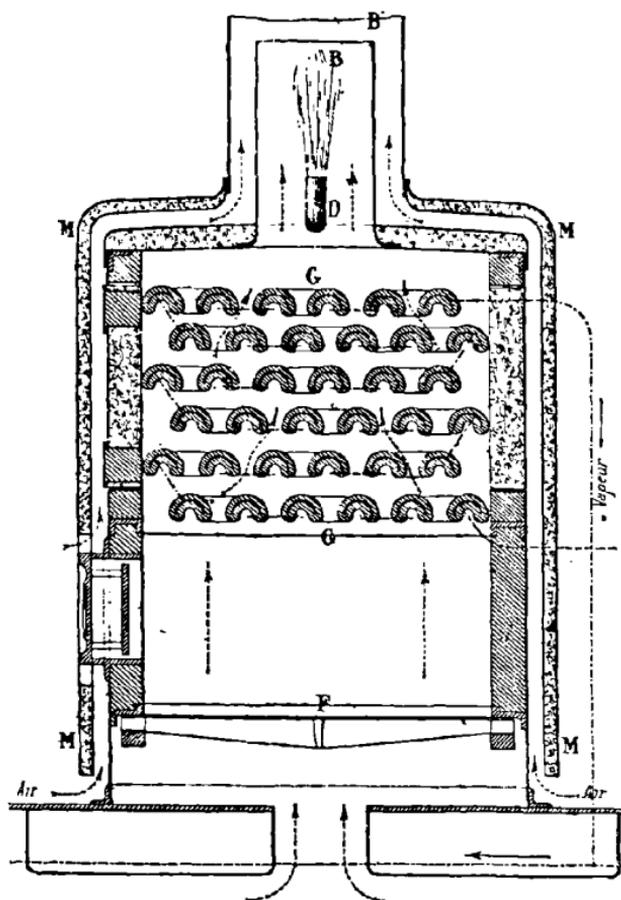


Fig. 64. — Chaudière Serpollet.

La grande épaisseur du métal qui constitue chaque élément donne à la chaudière un grand volant de chaleur qui lui permet de réduire en vapeur, instantanément, une

quantité d'eau, variable suivant des besoins assez différents, tels que ceux que comporte un service de traction

Dans ces chaudières, le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de

chauffe à la surface de grille varie de 25 à 35; la puissance de vaporisation spécifique atteint quelquefois 100 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

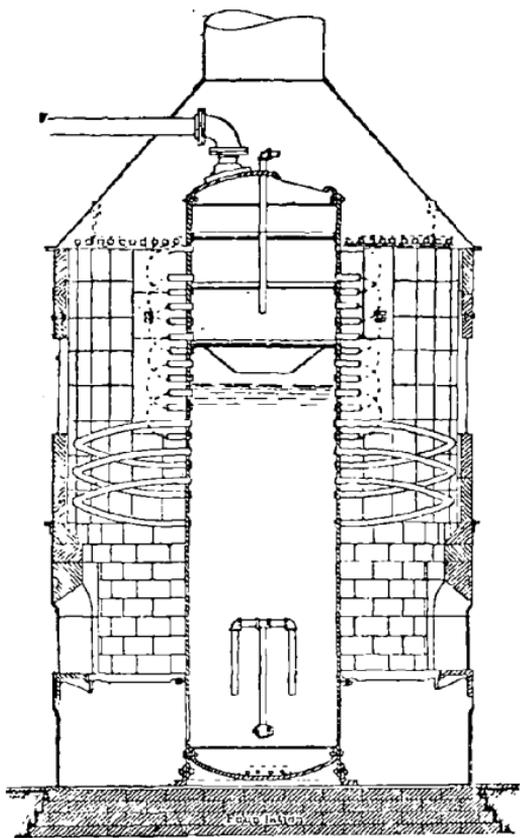


Fig. 65. — Chaudière Morrin Climax.

79. Chaudière « Morrin Climax » (construite par « The Clonbrock steam boiler Co » de Brooklyn). — La chaudière Morrin Climax (fig. 65) se compose d'un corps cylindrique vertical de 1 mètre

de diamètre et de 5^m,50 de hauteur environ, dont les fonds en forme de calottes sont emboutis sous un rayon de courbure sensiblement égal au diamètre du corps.

La paroi cylindrique du corps de chaudière est percée d'un très grand nombre de trous, de 5 à 6 centimètres de diamètre, dans lesquels s'engagent des tubes vaporisateurs.

Chaque tube part normalement d'un point du corps cylindrique pour y revenir à un niveau supérieur situé à 70 centimètres du premier, après un parcours cintré qui le fait saillir de 1 mètre environ dans le sens radial.

La disposition de l'ensemble des tubes constitue un système hélicoïdal, et forme autour du corps cylindrique une sorte de hérisson vaporisateur.

Le chauffage de la surface de chauffe est obtenu au moyen de quatre foyers disposés autour du corps vertical, à une distance de la calotte inférieure assez grande pour que la partie inférieure de l'appareil puisse jouer le rôle de collecteur de dépôts.

Le niveau de l'eau dans l'appareil se trouve situé aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur du corps vertical. La partie supérieure de ce corps et les tubes vaporisateurs correspondants forment réservoir et sécheur de vapeur.

Pour obliger la vapeur à circuler dans les tubes supérieurs, la partie haute du corps cylindrique présente des cloisonnements horizontaux. De plus, un auvent circulaire est disposé à l'intérieur de ce corps, au-dessus du niveau de l'eau, pour produire un remous favorable à la précipitation du liquide entraîné.

Un serpentin en tubes de 60 millimètres, disposé en haut du fourneau, permet de réchauffer l'eau d'alimentation.

Ce genre de générateur est très répandu en Amérique, il se répand de plus en plus en Angleterre.

Sa puissance de vaporisation spécifique dépasse 15 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe.

CHAPITRE XVI

CHAUDIÈRES DIVERSES

CHAUDIÈRES MIXTES

80. **Cénéralités.** — Les chaudières mixtes sont celles qui comportent à la fois des tubes d'eau et des tubes de fumée.

Dans certains types, les tubes de fumée sont parcourus par les gaz, dès leur sortie du foyer, et les tubes d'eau sont placés sur le parcours ultérieur des flammes. Dans d'autres, c'est la disposition inverse qui est préférée.

Enfin, certains genres de chaudières mixtes sont constitués par de gros tubes d'eau traversés par des tubes de fumée concentriques. Le tube d'eau constitue dans ce cas un réchauffeur d'eau d'alimentation pour le corps qui comporte le tube de fumée.

La présence simultanée de deux sortes de tubes a toujours pour effet de compliquer la construction, aussi les chaudières mixtes sont-elles assez peu employées.

Nous donnerons à titre d'exemple la description sommaire d'une chaudière mixte du type récent, la *chaudière Meurisse*. La *chaudière Roser à retour de flammes* peut également être rangée dans cette catégorie.

On pourrait également y faire figurer la *chaudière Mac-Nicol* qui peut être considérée comme dérivée de la chaudière française, dans laquelle la partie des bouilleurs à l'aplomb de la grille est remplacée par un faisceau de

tubes d'eau débouchant, à l'avant, dans un caisson communiquant avec le corps supérieur, et à l'arrière dans un caisson réuni aux bouilleurs inférieurs.

81. Chaudière à tubes d'eau et de fumée Meurisse¹.

— Cette chaudière comprend à la fois des tubes d'eau et des tubes de fumée, c'est donc une chaudière mixte (fig. 66).

Par son mode de construction, et par la propriété qu'elle a de supporter des tirages forcés intenses et des combustions très actives, elle peut être rangée dans la catégorie des appareils à circulation rapide.

Elle comprend un faisceau de tubes d'eau courbés suivant des arcs de cercle concentriques, aboutissant à deux caisses formant une lame d'eau horizontale et une lame d'eau verticale.

La lame d'eau horizontale débouche dans le réservoir d'eau et de vapeur traversé par les tubes de fumée. Le même réservoir communique avec la lame d'eau verticale par un tuyau de grande section.

Le fond du foyer est constitué par une rangée de tubes verticaux jointifs aboutissant, par leur partie supérieure, à la partie inférieure de la lame d'eau horizontale, et débouchant dans un débourbeur placé au niveau de la grille.

La circulation s'établit par les tubes, la caisse horizontale, le réservoir d'eau et de vapeur, la caisse verticale.

Les flammes traversent le faisceau des tubes d'eau, puis les tubes de fumée.

Chacun des tubes peut être visité par ses deux extrémi-

¹ BERTIN, Rapport publié par le *Bulletin de la Société d'encouragement*, juin 1908.

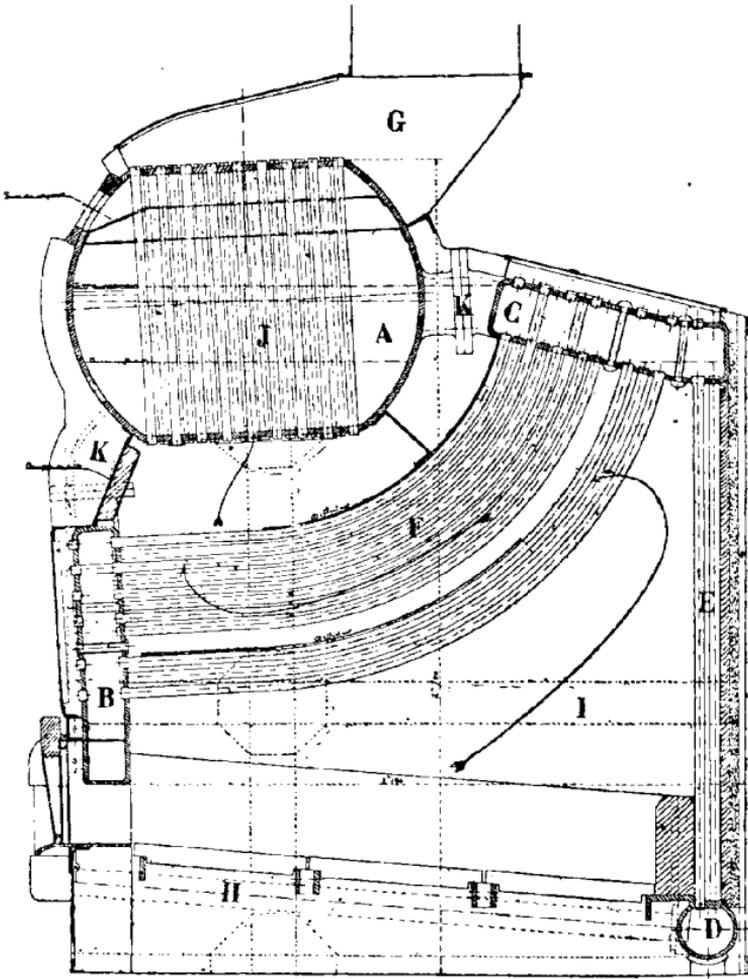


Fig. 60. — Chaudière Meurisse.

Légende

- A, Réservoir d'eau; B, lame d'eau verticale; C, lame d'eau horizontale; D, Débourbeur; E, Faisceau tubulaire écran; F, Faisceau tubulaire générateur; G, Boîte à fumée; H, Retour d'eau; I, Chambre de combustion; J, Tubes de fumée; K, Communication du réservoir avec la lame verticale.

tés, dès que la chaudière est vide. Il peut être enlevé facilement par la façade sans qu'on ait à toucher à aucun des tubes voisins.

La surface de chauffe est assez grande par rapport à la surface de grille ; pour les chaudières ordinaires $\frac{S}{G} = 34$ à 35 ; pour les chaudières de torpilleurs, ce rapport atteint 41. Les essais de vaporisation exécutés sur cette chaudière ont donné les résultats suivants :

Pour une activité de combustion de 80 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure, le coefficient de vaporisation (par kilogramme de briquettes d'Anzin) atteint 8^{ks},813 ; pour une activité de 276 kilogrammes, il est de 8^{ks},650.

Chaudières Roser à retour de flammes. — La chaudière Roser à retour de flammes peut aussi être rangée dans la catégorie des chaudières mixtes.

Elle diffère de la chaudière à tubes d'eau ordinaire du même système en ce que chaque tube d'eau est transversé par un tube de fumée concentrique, créant à l'intérieur des éléments un circuit de flammes, et ayant pour effet d'augmenter la surface de chauffe.

82. **Chaudières sans foyer.** — Ces chaudières sont employées dans la traction à vapeur. Ce sont plutôt des réservoirs d'eau chaude dans lesquels l'eau se vaporise au moment du besoin, et à la demande du moteur qu'ils alimentent, que de véritables chaudières.

La chaudière Francq comporte un récipient dans lequel l'eau est portée à 200°.

Cette eau se vaporise et la masse perd la quantité de

chaleur qui correspond à la chaleur de vaporisation. Sa température s'abaisse ; il en est de même de la tension de la vapeur qu'elle émet.

Ces chaudières donnent donc une pression variable, la vapeur qu'elles fournissent est détendue à une pression constante avant d'être utilisée.

Après cette détente, elle se surchauffe légèrement en traversant des tuyaux plongés dans l'eau de la chaudière.

En se refroidissant de 200 à 150°, 1 000 kilogrammes d'eau dégagent environ 100 kilogrammes de vapeur ; en se refroidissant de 200° à 130°, 1 000 kilogrammes d'eau dégagent environ 130 kilogrammes de vapeur.

Une autre solution de la chaudière sans foyer est celle d'*Honigmann* :

Une chaudière B renfermant de l'eau chaude sous pression est placée dans une autre chaudière A contenant une dissolution concentrée de soude.

Pour une même température, la tension dans A est plus petite que la tension dans B.

La chaudière A pourra donc absorber de la chaleur, s'échauffer et échauffer la chaudière B qui fournira la vapeur nécessaire. La chaudière A pourra absorber la vapeur d'échappement d'une machine sans que la contre-pression à l'échappement s'élève au-dessus de la pression atmosphérique.

83. Accumulateur régénérateur de M. Rateau. — Dans cette catégorie de chaudières peut se ranger un appareil spécial imaginé par M. Rateau pour récupérer les calories contenues dans la vapeur d'échappement des machines qui travaillent par intermittences, les machines

d'extraction, les machines de laminoirs, les marteaux pilons à vapeur, etc.

Cet appareil, auquel M. Rateau a donné le nom d'*accumulateur régénérateur de vapeur*, est constitué par un réservoir contenant des masses métalliques extrêmement divisées, recouvertes d'une mince couche d'eau, sur lesquelles viennent se condenser les vapeurs d'échappement, en cédant leur chaleur de vaporisation.

Ces appareils produisent de la vapeur à très basse pression, dont l'emploi est particulièrement avantageux dans les turbines.

Le premier appareil de ce genre, imaginé par M. Rateau, se compose d'une cuve en tôle cylindrique verticale dans laquelle sont empilées l'une au-dessus de l'autre des cuvettes en fonte de forme annulaire, que l'on remplit d'eau par avance, et entre lesquelles la vapeur peut circuler.

Les flux de vapeur intermittents arrivent de la machine par le tuyau supérieur et se distribuent aux cuvettes par le canal central A', tandis que le courant de vapeur régularisé sort par le tuyau inférieur pour aller à la machine à basse pression.

La masse de fonte des cuvettes, et le liquide même qu'elles renferment, forment un volant de chaleur, grâce auquel la vapeur s'accumule en se condensant, quand elle arrive en abondance, tandis qu'elle se reforme ensuite pendant le temps où l'échappement de la machine principale se ralentit ou cesse.

Les variations de température nécessaires pour la condensation et la régénération de la vapeur correspondent à de petites fluctuations de pression dans l'accumulateur.

La pression s'élève pendant que l'appareil se remplit et

baisse quand il se vide à la demande de la turbine. L'amplitude de ces oscillations n'est pas grande : 2 à 4° pour la température, et 0,10 à 0^{ks},15 par centimètre carré pour la pression, dans des conditions normales de fonctionnement. On peut d'ailleurs la limiter à tel chiffre que l'on veut en calculant l'appareil assez largement, d'après les périodes d'activité et de repos de la machine principale.

Une soupape est destinée à laisser échapper la vapeur de l'accumulateur quand la pression dans celui-ci s'élève au-dessus du chiffre qu'on a fixé pour la contre-pression de la machine principale (0,15 à 0^{ks},25 par centimètre carré environ en pratique); cette soupape est réglable à volonté.

La construction d'accumulateurs de ce type employé aux mines de Bruay (fig. 67), aux aciéries Poensgen et aux aciéries du Donetz étant assez coûteuse, M. Rateau ¹ a essayé d'un autre système d'appareil en fer; c'est ainsi qu'aux mines de la Réunion en Espagne, et de Hucknall-Torkard en Angleterre, on a construit des accumulateurs à l'aide de corps cylindriques d'anciennes chaudières, renfermant de vieux rails dont on se trouvait disposer dans des conditions de bon marché exceptionnel.

Mais le meilleur système d'accumulateur, le seul qui soit employé aujourd'hui, est l'accumulateur à eau. L'eau est en effet le corps qui, tout en ne coûtant rien, possède la plus grande capacité calorifique. Il était donc naturel de chercher à l'utiliser comme volant de chaleur à l'exclusion de tout autre corps. Il se présente, il est vrai, dans ce cas, une difficulté provenant de ce que

¹ M. A. RATEAU. I.

l'eau conduit fort mal la chaleur ; aussi est-il indispen-

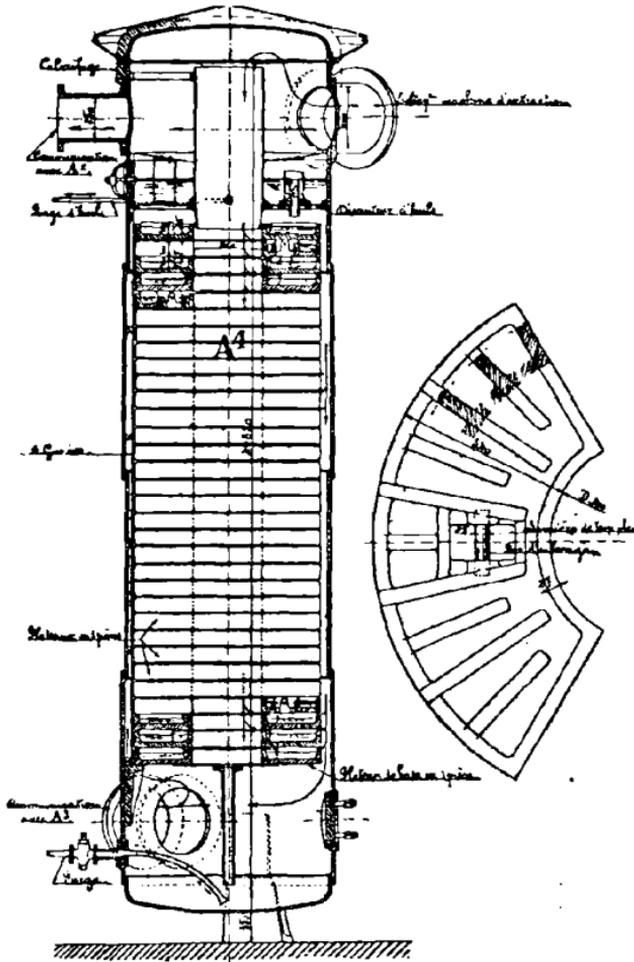


Fig. 67. — Accumulateur régénérateur des Mines de Bruay.

sable, pour communiquer à une masse d'eau déterminée

une grande quantité de calorique en peu de temps, de donner au liquide, une très active circulation.

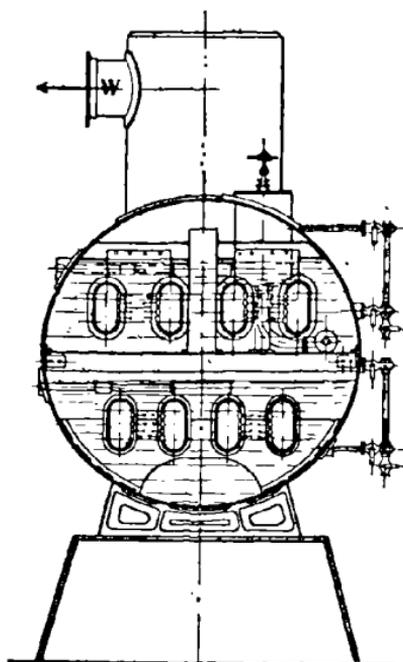


Fig. 68. — Accumulateur régénérateur à eau, système Rateau.

Cette condition a été réalisée de la manière suivante (fig. 68) : L'appareil est formé d'une chaudière cylindrique horizontale contenant de l'eau. Au sein du liquide sont placés de gros tuyaux horizontaux de section ovale dans lesquels la vapeur est envoyée; les parois de ces tubes sont percées de trous nombreux, et la vapeur est ainsi conduite, sans qu'il se produise de soubresauts, dans les espaces placés entre les tubes formant cheminées intérieures.

Pendant l'arrivée de la vapeur, le liquide renfermant des bulles de vapeur monte dans les cheminées pour redescendre par les côtés.

La circulation est telle que les particules d'eau se retrouvent environ toutes les deux secondes en contact avec la vapeur; presque toute la masse d'eau participe ainsi efficacement à l'absorption et à la restitution de la chaleur.

L'accumulateur est muni de purgeurs qui assurent le réglage automatique des niveaux de l'eau.

Enfin, l'appareil est organisé de manière à rendre la

turbine, alimentée par l'accumulateur, indépendante de la machine à régime intermittent qui lui donne sa vapeur.

L'accumulateur, quel que soit son modèle, est muni d'une soupape automatique qui est destinée à évacuer la vapeur de la machine principale lorsque la turbine ne l'absorbe pas.

L'excès de vapeur peut être expulsé dans l'atmosphère, mais on préfère maintenant l'envoyer au condenseur, ce qui donne la possibilité de faire fonctionner l'accumulateur, si on le désire, à une pression inférieure à celle de l'atmosphère; et par là, de faire bénéficier déjà la machine primaire d'un certain vide.

Il faut encore prévoir des arrêts prolongés des machines primaires, pendant les repos des ouvriers par exemple. Dans ce cas, le débit de vapeur de l'accumulateur deviendrait, en effet, bientôt insuffisant pour le travail à fournir par la turbine; aussi l'appareil est-il muni d'un détendeur automatique qui laisse venir la vapeur vive des générateurs, quand il en est besoin et en quantité suffisante pour compléter ce qui manque.

Ce détendeur s'ouvre lorsque la pression dans l'accumulateur tombe au-dessous d'une valeur déterminée, réglable à volonté.

La pression dans l'accumulateur est un peu supérieure à la pression atmosphérique; il y a, de ce fait, une légère contre-pression aux machines primaires, ce qui présente un certain intérêt au point de vue des rentrées d'air aux joints des tuyauteries, et aussi au point de vue du rendement de l'ensemble, car les turbines utilisent beaucoup mieux la vapeur à basse pression que les machines à pistons.

Cependant, rien ne s'oppose à ce que la pression soit égale et même inférieure à la pression atmosphérique.

On a reproché au système de donner lieu à des condensations provoquées par le rayonnement de l'accumulateur et des tuyauteries qui lui sont adjointes. Ces condensations sont de très minime importance. On sait, en effet, que la quantité de vapeur à 100° condensée par le rayonnement des tôles nues est d'environ 1 kilogramme par mètre carré et par heure, et que cette quantité s'abaisse à moins de la moitié quand les tôles sont recouvertes d'un enduit calorifuge. D'après cela, pour un accumulateur, de 250 mètres carrés de surface extérieure, suffisant pour régulariser un débit de vapeur de 10 000 à 20 000 kilogrammes de vapeur à l'heure, la quantité d'eau condensée par heure ne dépassera pas 125 kilogrammes, c'est-à-dire 1 % environ.

On a prétendu aussi que l'efficacité de l'accumulateur diminuerait peu à peu par suite de l'accumulation de l'huile entraînée par la vapeur d'échappement.

Il se forme, effectivement, une mince pellicule d'huile sur les plateaux des accumulateurs en fonte, mais cela ne gêne pas sensiblement les échanges de chaleur.

Dans les accumulateurs à eau, l'huile qui est entraînée par la vapeur se dépose, en sorte que, peu à peu, la proportion d'huile dans l'eau augmente, mais cela ne gêne nullement le fonctionnement de l'appareil à cause du mouvement du liquide.

Dans les périodes d'inactivité, l'huile remonte à la surface et forme une couche que l'on peut extraire de temps à autre par des purges appropriées ; l'accumulateur constitue ainsi un bon dégraisseur de vapeur.

CHAPITRE XVII

SURCHAUFFEURS DE VAPEUR

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

84. **Rôle du surchauffeur.** — Le surchauffeur de vapeur communique à la vapeur saturée, généralement humide, de la chaleur, pour la transformer en vapeur saturée sèche, puis en vapeur surchauffée sous pression constante.

Cet appareil, comme l'économiseur, est souvent placé dans les carnaux de la chaudière, afin de recueillir le plus de chaleur possible du combustible brûlé sur la grille. Mais quelquefois, il constitue un appareil spécial, séparé de la chaudière, notamment lorsque la température de surchauffe à obtenir est supérieure à celle que peuvent donner les gaz qui vont à la cheminée.

85. **Avantages de la surchauffe.** — L'intérêt principal qui s'attache à l'organisation des surchauffeurs résulte de ce que l'emploi de la vapeur surchauffée, au lieu de la vapeur saturée que donne normalement la chaudière, permet d'améliorer le rendement thermique¹ de la machine à vapeur en diminuant l'action nuisible de ses parois.

On sait, en effet, que les parois de la machine à vapeur

¹ Le *rendement thermique* d'une machine est défini par le rapport entre l'énergie fournie par cette machine et la chaleur contenue dans la vapeur qui a travaillé pour la fournir.

On distingue deux sortes de *rendements thermiques* : le *rendement indiqué* et le *rendement effectif*, suivant qu'il s'agit de l'énergie fournie par la machine, comptée sur le piston, et donnée par l'indicateur de Watt, ou comptée sur l'arbre moteur.

empruntent de la chaleur à la vapeur introduite pendant la période d'admission au cylindre.

Cet emprunt de chaleur a pour effet d'occasionner une condensation partielle de la vapeur si elle est seulement saturée, et, par suite, une diminution de la pression sur le piston.

Si la vapeur est surchauffée, cette condensation ne se produit pas et la pression ne subit pas de diminution de ce fait.

Les condensations qui tendent à se produire pendant la détente, par suite de l'abaissement de température de la vapeur, sont réduites; et même, elles ne se produisent pas, si la vapeur est suffisamment surchauffée.

La vapeur est sèche au moment où elle sort de l'échappement de la machine pour entrer dans le condenseur, et l'on évite ainsi une perte de chaleur, appelée *perte au condenseur*, qui se produit lorsque la vapeur est humide à cette phase de la distribution.

86. Historique de la surchauffe. — Le même résultat pourrait être obtenu en donnant la chaleur nécessaire à la vapeur par l'intermédiaire des parois, c'est-à-dire des chemises ou enveloppes; mais le moyen qui consiste à donner cette chaleur à la vapeur même qui doit évoluer dans le cylindre apparaît, *a priori*, comme le plus simple qui soit susceptible de donner à cette vapeur son rendement maximum.

Ces résultats ont été pressentis dès l'apparition de la machine à vapeur; aussi, trouve-t-on dès cette époque des tentatives de production de vapeur surchauffée¹. Mais les premiers essais de surchauffe industrielle ne datent que du commencement du siècle dernier².

¹ Brevet HATELEY, 1768 (Angleterre).

² Brevet BECKER pour la surchauffe de la vapeur, 1827.

Plus tard, *Raffard* l'applique à une machine à balancier (1848), *Hirn* en fait une application pratique en 1855 et révèle les avantages qu'elle donne. Son mémoire sur la question signale déjà les propriétés de la vapeur surchauffée au point de vue de l'action des parois et du rendement des machines.

Marc Seguin fait construire à Lyon, vers la même époque, un surchauffeur formé de tubes en fer entourés d'une masse de fonte qu'on chauffait au rouge et qui devait transmettre sa chaleur aux tubes, et, par suite, à la vapeur qui y circulait. Un essai exécuté sur une machine *Farcot* ne donna pas de bons résultats, on l'attribua à la trop haute température de la vapeur introduite dans le cylindre.

Tous ces essais de machines utilisant la surchauffe furent interrompus souvent par divers incidents, fuites nombreuses aux machines, grippages aux cylindres, coups de feu aux surchauffeurs, accidents occasionnés par la décomposition des huiles, etc. Ils découragèrent les inventeurs et firent renoncer pendant longtemps à l'application industrielle de la surchauffe bien que son principe fût reconnu bon et son emploi avantageux.

A ces causes d'abandon momentané de la question s'ajoutaient celles qui venaient de l'apparition des machines à expansions multiples : ces machines permettaient d'obtenir une bonne utilisation de la vapeur, c'est-à-dire de résoudre par des moyens différents, et d'application beaucoup plus facile, le problème dont on recherchait la solution par la surchauffe.

Depuis une vingtaine d'années, grâce aux progrès de la métallurgie et de la construction mécanique, on peut construire des surchauffeurs résistant aux effets de la sur-

chauffe, et des machines à vapeur, à l'action de la vapeur surchauffée. Depuis cette époque, les applications de la surchauffe se développent de jour en jour dans tous les pays, et l'on voit non seulement les grandes installations nouvelles l'adopter ; mais encore les anciennes, à vapeur saturée, se transformer en installations à vapeur surchauffée. La surchauffe ne s'applique pas seulement aux machines fixes, elle s'applique aussi depuis quelque temps aux locomotives et aux machines marines.

Cette évolution est encore favorisée par le développement d'une catégorie de machines thermiques, les turbines à vapeur, pour lesquelles les avantages résultant de la surchauffe sont plus évidents encore que pour les machines à piston. Ces machines sont, en effet, moins sensibles que les machines à piston aux variations de degré de surchauffe, et elles supportent, plus aisément que ces dernières, les imperfections que l'on constate encore, au point de vue de la régularité de la surchauffe, dans les surchauffeurs actuels. De plus, elles exigent de la vapeur absolument sèche dans tout son parcours à travers la machine sous peine de donner lieu à des pertes de rendement et à des corrosions très rapides des aubes.

87. Difficultés auxquelles donne lieu la surchauffe.

— Il semble qu'il y ait intérêt, au point de vue de l'amélioration du rendement thermique des machines, à pousser la surchauffe aussi loin que possible.

En réalité, on est arrêté dans cette voie par plusieurs difficultés :

1° Les huiles de graissage des machines, même lorsqu'elles sont choisies parmi les huiles minérales qui résistent le mieux aux plus hautes températures, se carbo-

nisent néanmoins légèrement, et elles forment à la longue un cambouis qui provoque des grippements du piston dans le cylindre.

2° Les pièces en bronze et en cuivre ne peuvent supporter les températures de surchauffe habituelles sans perdre beaucoup de leurs qualités mécaniques ; leur résistance à la rupture diminue, leur fragilité augmente, et il est indispensable de n'employer que des pièces en acier ou en fonte, malgré l'infériorité de ces métaux au point de vue des frottements, dans les machines qui emploient la vapeur surchauffée.

La fonte elle-même doit être rejetée, lorsque la température dépasse 250 à 300°, pour la confection de certains organes tels que les tiroirs plans, en raison de son coefficient de dilatation, et aussi de sa détérioration rapide sous l'action des produits de la décomposition de l'eau et des matières graisseuses¹.

Il ne reste guère, par suite, que l'acier ordinaire comme métal susceptible d'être employé sans inconvénient dans la construction des machines à vapeur surchauffée et des surchauffeurs.

3° Les garnitures en chanvre et en coton ne peuvent pas résister aux hautes températures de surchauffe, et il est indispensable de les remplacer par des garnitures métalliques dans les machines à vapeur surchauffée.

Ces diverses difficultés inhérentes à l'emploi de la vapeur surchauffée à de très hautes températures ont fait fixer à 400° la température qu'il ne faut pas dépasser actuellement dans la pratique. A de semblables tempéra-

¹ Paul BAUDOUIN, *La surchauffe de la vapeur*. Bibliothèque du mois scientifique et industriel. Dunod, éditeur.

tures, la sécurité de marche diminue dans des proportions notables, par suite de l'encrassement des cylindres dû à la carbonisation des graisses ; en outre, la dépense supplémentaire d'huile de graissage compense l'économie de combustible qui donne la surchauffe.

Du reste, les très hautes températures de surchauffe ne sont pas nécessaires ; l'étude du degré de surchauffe correspondant au maximum d'économie, montre en effet, que le meilleur rendement final d'une machine à vapeur s'obtient pour la surchauffe qui est juste suffisante pour empêcher tout dépôt d'eau dans le cylindre, pendant la période d'admission et pendant la détente.

Les praticiens les plus autorisés admettent que la température de 300°, correspondant à une surchauffe de 100 à 125° au-dessus de la température de la vapeur saturée, est une limite qu'il n'est pas avantageux de dépasser dans les machines à pistons.

Dans les turbines, dont la vapeur n'est pas graissée, et qui laissent subsister entre le rotor ou turbine proprement dite et le stator ou distributeur des jeux relativement importants, la température extrême de surchauffe peut être plus élevée que dans les machines à pistons. Dans ce cas la surchauffe est économique et les hautes températures ne présentent pas d'inconvénients, néanmoins, les surchauffeurs industriels ne sont pas organisés pour donner des degrés de surchauffe supérieurs à ceux qui ont été indiqués ci-dessus.

A ces difficultés qui résultent de l'emploi d'une vapeur de très haute température s'ajoutent celles qui sont inhérentes à l'organisation des surchauffeurs : ces appareils doivent nécessairement être à l'abri des détériorations provenant de l'action du feu. Ils doivent aussi fournir la va-

peur à une température sensiblement constante, malgré les irrégularités de combustion des foyers, et les variations de débit des chaudières auxquelles ils sont adjoints.

CONSTITUTION DES SURCHAUFFEURS

88. **La circulation dans les surchauffeurs.** — Les surchauffeurs sont constitués par des faisceaux de tubes en acier (quelquefois, mais très rarement, en fonte, surchauffeur Schwœerer), analogues aux tubes d'eau des chaudières multitubulaires, dans lesquels la vapeur circule avant d'être utilisée.

Les tubes, ou éléments de surchauffeur, peuvent être chauffés par les flammes directes du foyer de la chaudière au même titre qu'un élément de surface directe de chauffe de chaudière. Ils peuvent encore être placés dans les carneaux, et être traités, au point de vue de l'action du foyer, comme des éléments de surface indirecte de chauffe.

Enfin, ils peuvent être placés dans un foyer distinct de celui de la chaudière ; ils constituent alors des surchauffeurs indépendants.

En général, la disposition des faisceaux de tubes dans le courant de gaz chauds, et la constitution des faisceaux elle-même sont telles qu'une *circulation méthodique* de la vapeur (*inverse du courant gazeux*) soit réalisée par l'organisation même du surchauffeur.

Mais la circulation méthodique complète donne lieu à des difficultés pratiques : les parties où passe la vapeur la plus chaude sont, en même temps, en contact avec les gaz les plus chauds. Les éléments se conservent mal et s'usent vite ; en outre, la chaleur a quelque difficulté à se trans-

mettre en raison de la faible différence de température qui existe entre les gaz chauds et la vapeur.

Pour atténuer ce défaut, Schmidt combine des appareils dans lesquels il organise à la fois une circulation méthodique et une circulation inverse (dans laquelle les gaz chauds et la vapeur se meuvent dans le même sens) (fig. 69).

La vapeur entre dans le surchauffeur par les éléments les moins chauds, elle se sèche en suivant un circuit de circulation méthodique ; puis elle passe dans la partie la

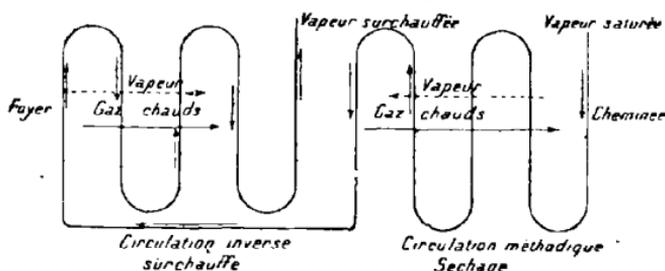


Fig. 69. — Circulation dans les surchauffeurs.

plus chaude du surchauffeur, où elle se surchauffe en adoptant un circuit de circulation inverse (voir fig. 75).

90. Surface de chauffe des surchauffeurs. Rendement. — La surface de chauffe d'un surchauffeur dépend du poids de vapeur à surchauffer, du degré de surchauffe à obtenir et de la température des gaz utilisés.

D'une manière générale, on peut admettre qu'il existe une différence de température de 100° environ entre les gaz chauds et la vapeur contenue dans les tubes du surchauffeur, et qu'il faut 1 mètre carré de surface de chauffe environ pour surchauffer 80 kilogrammes de vapeur, de 200 à 300°, à l'heure. Ces données suffisent pour déterminer la surface de chauffe d'un surchauffeur chargé de

débiter un poids donné de vapeur surchauffée à l'heure. Lorsqu'il s'agit de surchauffeurs indépendants, on admet que sur 100 calories fournies par le foyer, 65 à 70 sont communiquées à la vapeur, et on dit que le rendement est de 65 à 70 %. Ce résultat permet de déterminer les caractéristiques du foyer lorsqu'on connaît la puissance calorifique (nombre de calories par kilogramme) du combustible employé.

INSTALLATION DES SURCHAUFFEURS

91. Emplacement des surchauffeurs. — L'emplacement à donner à un surchauffeur dépend de la température de la surchauffe.

En général, la température des gaz envoyés à la cheminée ne dépasse pas 250°-300°. Si donc la température de surchauffe est inférieure à cette température, il est possible d'organiser un surchauffeur dans les gaines de fumée de la chaudière.

Au delà, il est indispensable de rapprocher les éléments du surchauffeur du foyer, et l'organisation de l'appareil devient plus difficile. Elle est même parfois impossible, parce qu'elle réduirait le tirage et la puissance de vaporisation du générateur dans des proportions inadmissibles et alors, on est obligé d'accepter le surchauffeur indépendant.

Le surchauffeur n'est plus dans ce cas un organe accessoire du générateur, utilisant des calories qui seraient perdues sans lui, mais bien un appareil spécial nécessitant un chauffage particulier.

On peut se demander si l'avantage qui résulte de l'obtention d'un meilleur rendement à la machine à vapeur compense le surcroît de dépense résultant de l'installation

d'un surchauffeur et de la consommation supplémentaire de combustible qu'il entraîne.

Si, à ces dépenses supplémentaires, on ajoute celles qui se rapportent au remplacement des tubes détériorés par l'usage, ou brûlés par les gaz chauds du foyer, dépenses qui sont d'autant plus importantes que la température de surchauffe est plus élevée, on arrive à cette conclusion, qu'il y a avantage au point de vue de la facilité d'organisation des surchauffeurs, et des dépenses résultant de leur entretien, à ne pas dépasser la surchauffe qui peut se faire directement dans le foyer de la chaudière.

On arrive ainsi à ne pas dépasser la limite pratique de 300°, déjà indiquée comme limite de surchauffe maximum pour les machines à pistons.

Pendant, l'emploi du surchauffeur indépendant est quand même avantageux dans un grand nombre de cas, et cela explique pourquoi il est assez souvent employé.

Enfin, il est des cas où il s'impose ; par exemple, lorsque la machine est éloignée de sa chaudière, ce qui arrive, notamment, lorsque le chauffage se fait en utilisant les gaz sortant des fours métallurgiques.

92. Installation des surchauffeurs dans les carneaux des chaudières. — Les dispositions adoptées sont nombreuses, car elles diffèrent suivant les types de générateurs auxquels elles s'appliquent, et qu'elles dépendent, en outre, du tirage et de l'organisation du foyer.

Dans toutes ces organisations, des mesures sont prises pour éviter des détériorations aux tubes sous l'effet de la chaleur et aussi pour assurer à l'appareil une température de surchauffe sensiblement constante quel que soit son débit.

Enfin, les canalisations d'arrivée et de départ de la vapeur surchauffée sont organisées de manière à pouvoir être isolées en cas d'accident quelconque au surchauffeur.

En général, on évite les détériorations occasionnées par la chaleur en organisant les surchauffeurs de manière que

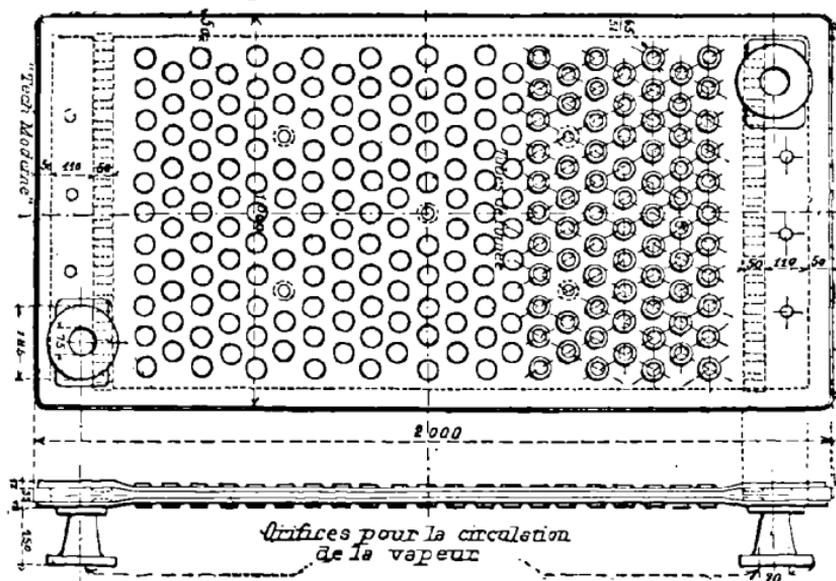


Fig. 70. — Surchauffeur Heizmann.

les tubes les plus chauds soient parcourus par la vapeur dès sa sortie de la chaudière, c'est-à-dire lorsqu'elle contient le plus d'humidité. Quelquefois même on ménage, dans le même but, une entrée de vapeur humide venant directement de la chaudière dans les tubes les plus surchauffés ; dans ce cas, on utilise cette addition de vapeur humide pour régler la température de surchauffe.

Le réglage de la température de surchauffe se fait aussi en ouvrant une ou plusieurs communications directes de

la gaine de fumée avec la cheminée, ou en agissant directement sur le tirage.

93. **Installation des surchauffeurs dans les carreaux des chaudières à grands corps et des chaudières à tubes de fumée.** — Dans les chaudières à

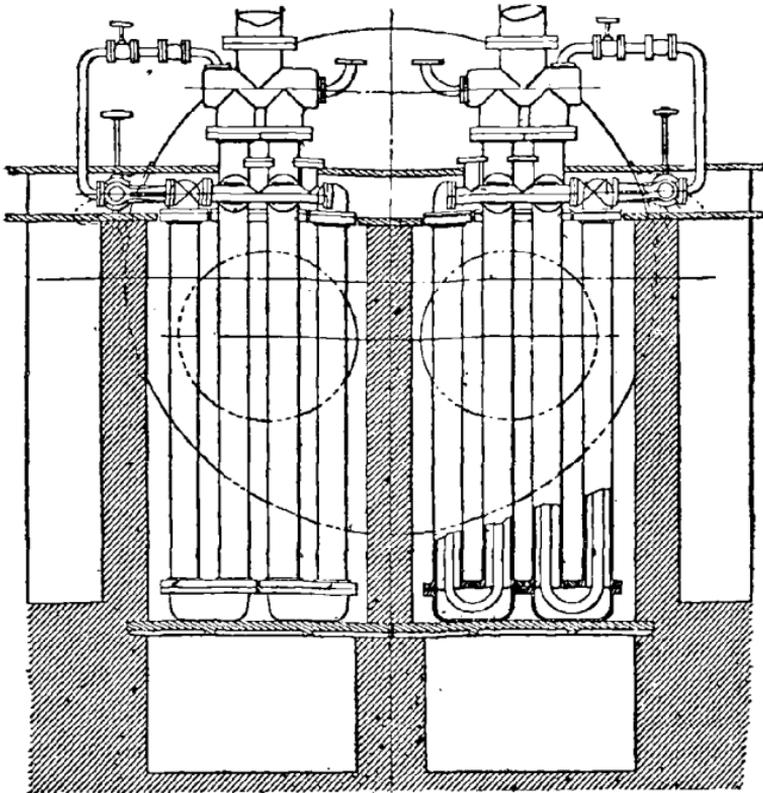


Fig. 71. — Surchauffeur Cruse.

grands corps, les surchauffeurs sont placés sur les côtés du corps supérieur, et aussi dans la chambre de combustion

La vapeur part du dôme de la chaudière, elle parcourt la tuyauterie des côtés latéraux en adoptant une circulation méthodique ; elle se sèche, puis elle traverse les tubes de la chambre de combustion où elle se surchauffe en adoptant une circulation inverse.

Certains types de surchauffeurs, le surchauffeur *Musgrave*, le surchauffeur *Galloway* sont placés à l'arrière de la chaudière.

Dans les chaudières semi-tubulaires, à foyer extérieur, les surchauffeurs sont organisés comme dans les chaudières à grands corps. Toutefois, certains types de chaudières semi-tubulaires, la chaudière *Steinmuller*, par exemple, comportent un surchauffeur tout entier installé dans les carneaux.

Ce surchauffeur est formé par une chambre en fer forgé, divisée en plusieurs parties, renfermant des tubes en V de petit diamètre, et parcourues, successivement, par les gaz chauds allant à la cheminée.

Les surchauffeurs des chaudières multitubulaires à foyer intérieur sont placés, à la sortie des tubes de fumée, dans la chambre de fumée ; ils ont un emplacement analogue dans les chaudières marines à tubes de fumée. Ils

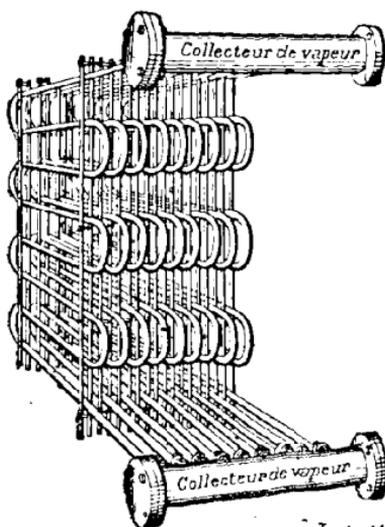


Fig. 72. — Surchauffeur Hering. *Tech. Moderne*

sont constitués par un faisceau de tubes, horizontaux ou verticaux suivant les types, traversés par la vapeur à surchauffer et placés à l'origine de la cheminée. Le surchauffeur Napier à tubes horizontaux de 5 centimètres de diamètre et de 1^m,70 de longueur environ est dans ce cas.

Dans certaines chaudières, le surchauffeur est placé dans le foyer même, sous la grille.

Dans les chaudières à tubes de fumée, type locomotive, le surchauffeur peut être placé dans la boîte à fumée, mais il tient beaucoup de place et est difficile à nettoyer et à réparer. On peut aussi transformer un certain nombre de tubes de fumée en tubes surchauffeurs par l'addition d'une gaine les enveloppant sur une partie de leur longueur, et en mettant l'intervalles annulaire formé, en communication avec le dôme de vapeur et avec la machine (M. Wildt).

On peut encore constituer le surchauffeur au moyen de tubes genre Field, placés dans les tubes à fumée (surchauffeur Schmidt, de locomotive du Canadian Pacific Railway).

94. Installation des surchauffeurs dans les chaudières multitubulaires à tubes d'eau. — Dans les chaudières à gros tubes à circuit composé simple (Babcock et Wilcox) et dans les chaudières à lames d'eau (Ch. Buttner) (fig. 73), le surchauffeur est placé entre le réservoir supérieur et le faisceau tubulaire.

Dans celles qui comportent des tubes genre Field (chaudières Niclausse, etc.), les surchauffeurs sont installés au-dessus du faisceau de tubes.

Dans la chaudière Solignac-Grille, le surchauffeur est placé au milieu du système vaporisateur, et il peut bas-

culer avec lui pour la visite et le nettoyage des éléments.

Dans la chaudière Belleville, le surchauffeur, constitué par un faisceau de tubes, contenu dans une caisse parallélogrammique, est placé au-dessus des éléments.

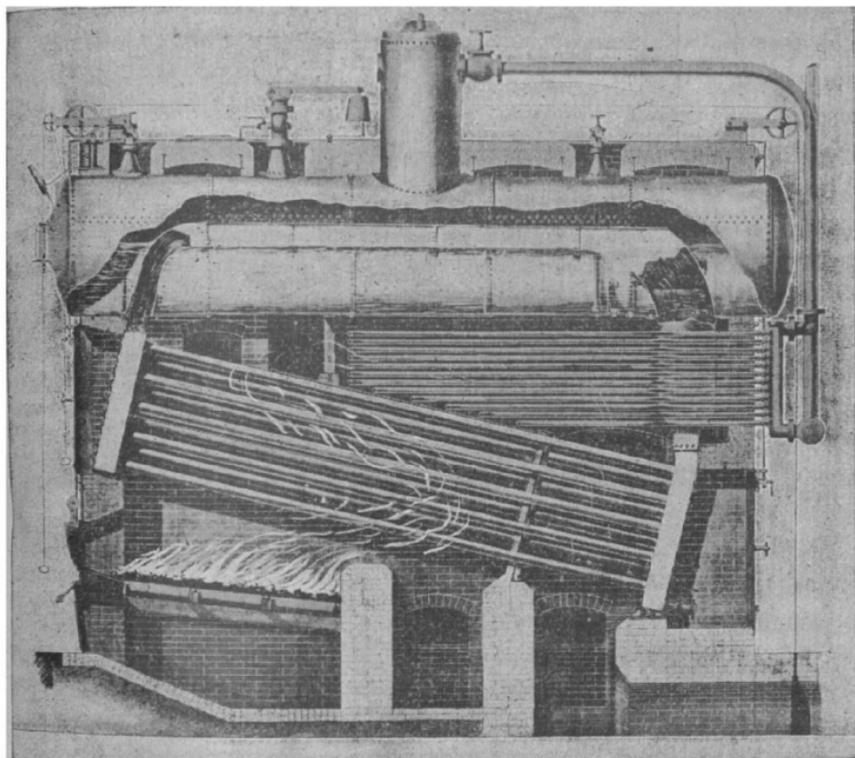


Fig. 73. — Chaudière Bullner, type surchauffeur Biétrix, Lellaive et Cie.

Les chaudières à petits tubes sont souvent munies de surchauffeurs indépendants. Lorsqu'elles possèdent un surchauffeur, celui-ci est constitué, en général, par des tubes en serpentín placés à l'arrière du foyer.

Les chaudières à vaporisation instantanée possèdent des surchauffeurs analogues.

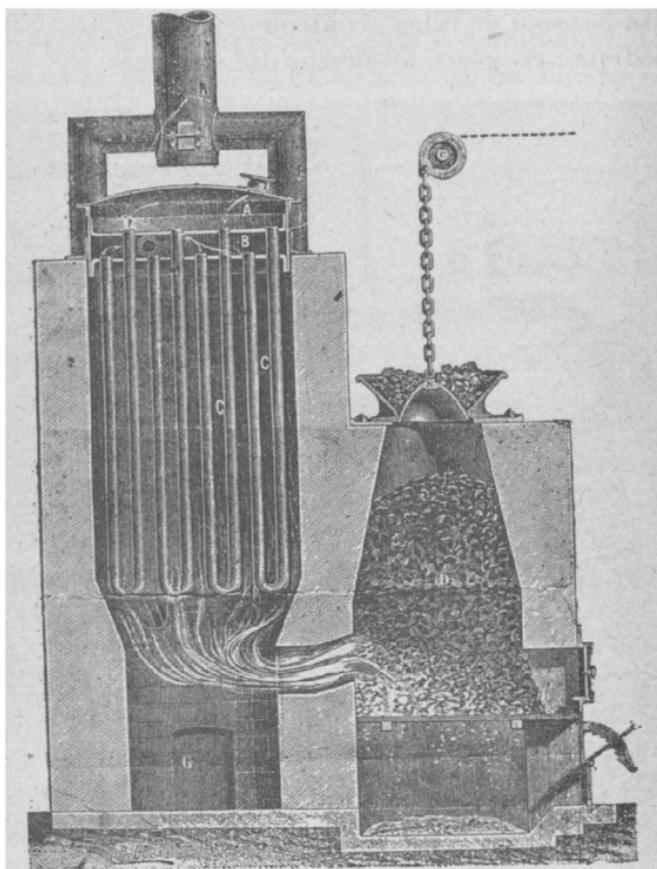


Fig. 74. — Surchauffeur Montupet.

Dans quelques générateurs de cette catégorie, le surchauffeur n'est autre qu'un simple sécheur de vapeur constitué par les éléments supérieurs de la chaudière restant constamment remplis de vapeur.

La chaudière Climax, à petits tubes en serpentín, dans laquelle le tube central n'est rempli d'eau que jusqu'aux $\frac{2}{3}$ de sa hauteur, est dans ce cas.

Enfin, dans certains générateurs, on a cherché à simplifier l'organisation du surchauffeur en utilisant les pièces du foyer. Les parois latérales du foyer sont constituées par des pièces creuses jouant le rôle de surchauffeur (chaudière Roser, etc...).

95. Surchauffeurs indépendants. — Les surchauffeurs indépendants sont organisés et installés suivant des principes analogues à ceux qui régissent l'organisation et l'établissement des surchauffeurs installés dans des foyers de chaudières. Mais, tandis que les surchauffeurs adjoints aux chaudières sont presque nécessairement constitués par des tubes de petit diamètre, en nombre relativement restreint, parce que la place disponible n'est pas très grande à l'intérieur des carneaux ; dans les surchauffeurs indépendants, on peut utiliser des dispositifs plus volumineux donnant un plus grand volant de chaleur au surchauffeur et, en outre, organiser plus facilement une surchauffe rationnelle de la vapeur.

Le chauffage n'est pas influencé dans ce cas par le chauffage normal de la chaudière, et il donne au surchauffeur indépendant une grande facilité de réglage du degré de surchauffe.

Enfin le surchauffeur indépendant se prête bien à la centralisation de la surchauffe de toute la vapeur produite par les chaudières d'une installation.

Organisation des surchauffeurs indépendants. — Certains surchauffeurs, le surchauffeur Maiche notamment,

sont constitués par des tuyaux assez gros, analogues à ceux

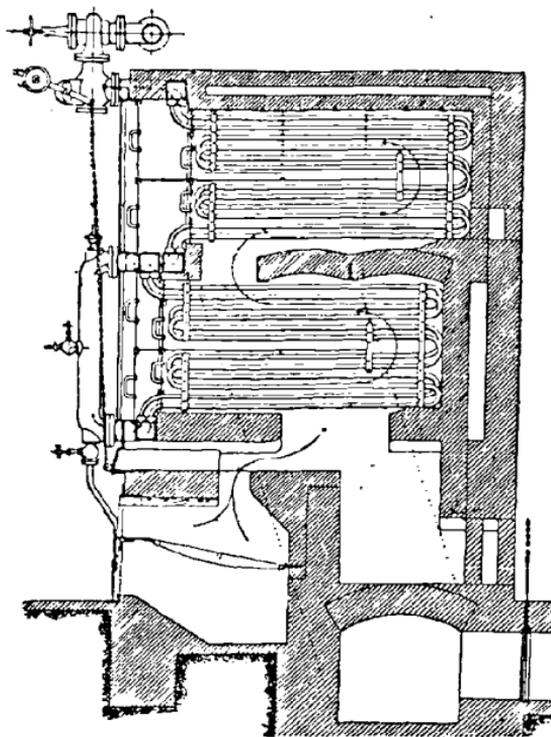


Fig. 75. — Surchauffeur Schmidt.

des chaudières multitubulaires à gros tubes, formant par leur réunion des circuits dans lesquels on organise une circulation méthodique de la vapeur.

D'autres surchauffeurs, les surchauffeurs Hering (fig. 72), Grouvelle et Arquembourg, Bieatrix Leslaive

et Cie (fig. 76), Badère (fig. 77), Czamatolski (fig. 78), etc., sont constitués par des tubes de petit diamètre, en U ou en serpentín, dans lesquels la vapeur circule en suivant un circuit méthodique. Le surchauffeur Schmidt (fig. 75) est à petits tubes, il comporte à la fois une circulation méthodique et une circulation inverse.

Un certain nombre de surchauffeurs sont constitués par des éléments genre Field, dans lesquels les tubes intérieurs communiquent avec la chaudière, alors que les

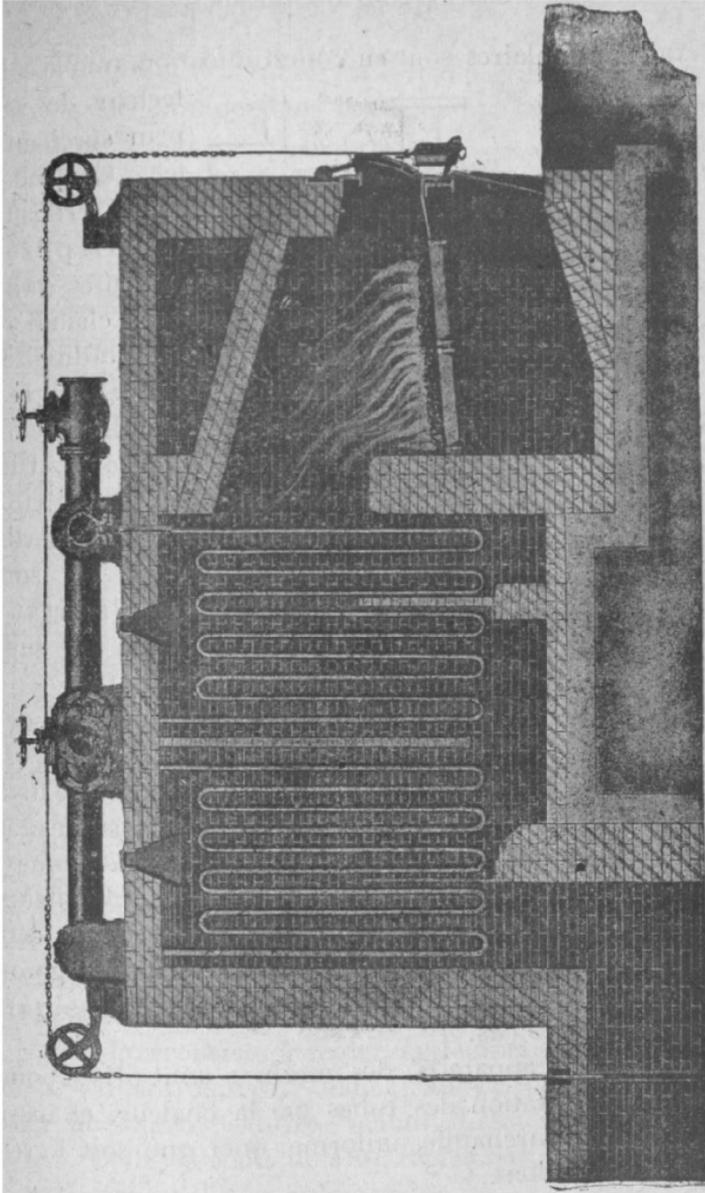


Fig. 76. — Surchauffeur indépendant type Lelhaive et Cie.

intervalles annulaires sont en communication avec le col-

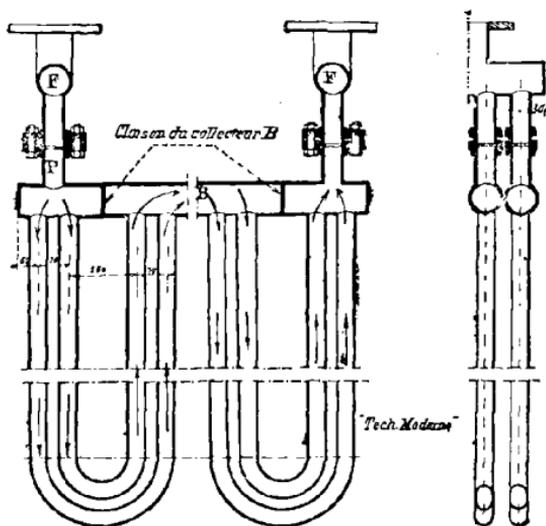


Fig. 77. — Surchauffeur Badère.

chauffeur Wildt.

La plupart des surchauffeurs sont constitués par des tubes, cependant le surchauffeur Heizmann (fig. 70) est formé par deux plaques à 1 centimètre l'une de l'autre, traversées par un grand nombre de tubes parcourus par des gaz chauds du foyer. La vapeur circule entre ces deux plaques.

Au point de vue du chauffage, les divers surchauffeurs présentent des différences peu notables, cependant certains surchauffeurs sont chauffés par de véritables gazogènes. Les surchauffeurs Watkinson, Montupet (fig. 74), etc., sont dans ce cas.

Dans tous ces appareils, des mesures sont prises pour éviter la détérioration des tubes par la chaleur, et aussi pour rendre la surchauffe uniforme, quel que soit le régime de la chaudière.

lecteur de vapeur surchauffée. Ces tubes sont verticaux et disposés comme dans une chaudière Fieldordinaire.

Dans les surchauffeurs Montupet, Uhler, Cadish, etc., ils sont verticaux. Ils sont horizontaux dans le sur-

La détérioration des tubes est évitée par une introduction de vapeur humide dans les éléments les plus exposés à la chaleur.

Le réglage de la surchauffe s'opère, automatique-

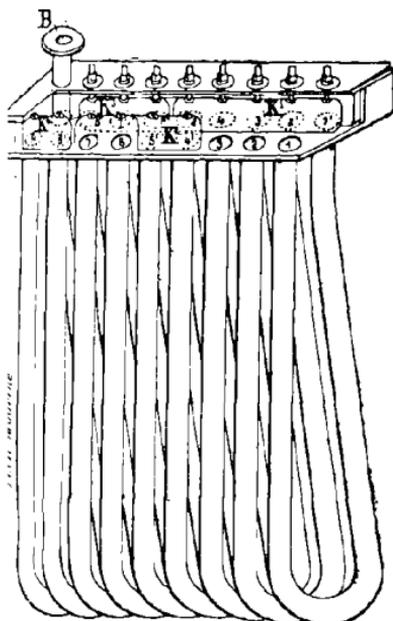


Fig. 78. — Surchauffeur Czamatolski.

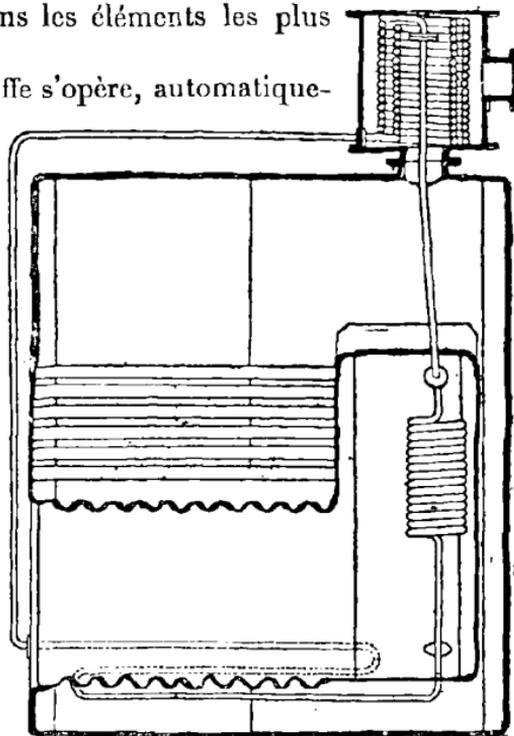


Fig. 79. — Surchauffeur Watkinson.

ment, par l'ouverture de carneaux envoyant directement à la cheminée une partie des gaz chauds du foyer. Il s'opère aussi en agissant sur le tirage.

Dans certains surchauffeurs on emploie un dispositif dû à M. Ogden qui consiste à régler la température du surchauffeur en introduisant dans celui-ci une certaine quantité de vapeur saturée venant directement de la chaudière. Cette introduction est réglée par un thermostat, c'est-à-dire qu'elle est automatique.

Dans le surchauffeur Cruse à gros tubes une circulation d'eau règle le degré de surchauffe.

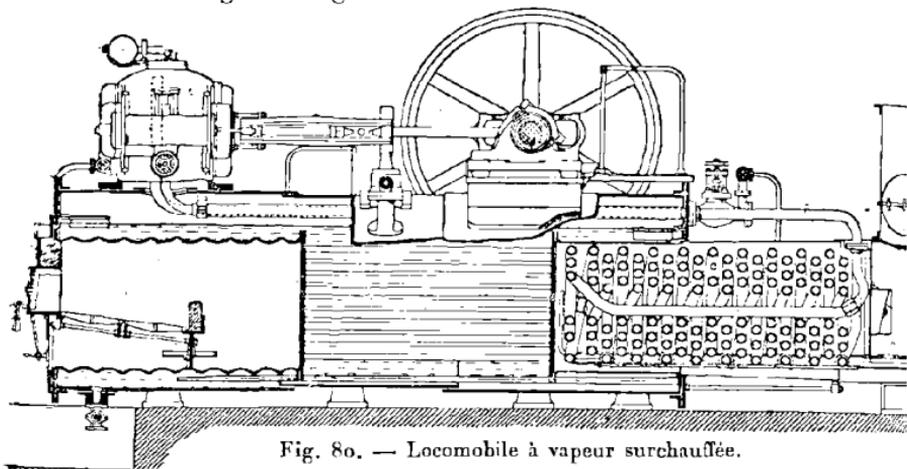


Fig. 80. — Locomobile à vapeur surchauffée.

La figure 80 représente une locomobile à vapeur surchauffée dans laquelle le surchauffeur est constitué par un serpentin placé à l'avant de la machine, dans la boîte à fumée.

96. **Surchauffeurs à liquide intermédiaire** ¹. — Dans un dispositif proposé par Watkinson, les gaz du foyer chauffent un liquide à point d'ébullition très élevé dans un serpentin de la boîte à fumée. Ce serpentin est relié à un surchauffeur constitué par un tube enroulé formant un double serpentin (fig. 79).

La vapeur entoure ce surchauffeur, elle reçoit de la chaleur du liquide vaporisé qu'il contient. Ce liquide revient à son point de départ en traversant les régions froides de la chaudière.

¹ *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. La surchauffe et ses applications, d'après NELSON, tome CVII, n° 5, page 657.*

CHAPITRE XVIII

ECONOMISEURS ET RÉCHAUFFEURS D'EAU D'ALIMENTATION

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

97. **Utilité du chauffage de l'eau d'alimentation.**

— L'eau d'alimentation d'une chaudière peut provenir d'une canalisation d'eau de ville, elle est alors à la température de 15° à 20°, et contient en dissolution de l'air et des sels calcaires. Elle peut être prise aussi dans la conduite de sortie d'un condenseur ; elle est à 40° environ, ne contient plus qu'une faible quantité d'air, mais renferme encore en dissolution les sels qu'elle contenait avant d'avoir servi à la condensation de la vapeur.

L'introduction d'une eau à 15° ou même à 40°, dans les chaudières, a pour effet d'occasionner, dans les parties voisines de l'orifice d'entrée, des dislocations des tôles dues aux différences de température qui existent entre ces parties et la masse métallique de la chaudière.

A cet inconvénient s'ajoute celui qui résulte de la présence de sels calcaires, dont on aurait pu débarrasser l'eau d'injection en l'échauffant préalablement au delà de 150°.

Enfin, il y a intérêt à ne pas laisser pénétrer une eau contenant de l'air en dissolution dans les chaudières, car le dégagement de l'oxygène à l'état naissant qu'il contient a pour effet d'occasionner des corrosions extrêmement rapides.

L'eau d'alimentation doit donc pénétrer chaude dans

le générateur, autant que possible à une température supérieure à 150°, non seulement pour éviter de disloquer les tôles, mais surtout pour provoquer, avant la vaporisation, le dépôt des sels calcaires qu'elle contient. Ces sels, en se déposant sur les tôles de coups de feu de la chaudière, auraient, en effet, l'inconvénient de s'opposer à la transmission de la chaleur et, par suite, d'avoir une influence nuisible sur la vaporisation¹ ; ils auraient en outre, le grave inconvénient d'augmenter, par leur présence sur les tôles, les risques d'explosion de l'appareil.

L'eau d'alimentation peut être réchauffée par plusieurs moyens :

1° Par la récupération des calories que contiennent encore les gaz du foyer lorsqu'ils vont à la cheminée. Les appareils dans lesquels se fait cette récupération portent le nom d'*économiseurs* ;

2° Par la récupération des calories contenues dans la vapeur d'échappement des machines échappant à l'air libre. Les appareils dans lesquels s'opère cette récupération s'appellent des *réchauffeurs d'eau d'alimentation* ;

3° Enfin, il est avantageux parfois d'utiliser pour le réchauffage de l'eau d'alimentation la vapeur qui a déjà travaillé dans une machine à détente multiples, et même d'employer pour cet usage de la vapeur vive provenant directement de la chaudière.

¹ Dans les chaudières de types courants, un dépôt de tartre de 2 millimètres accroît la consommation de combustible de 16 0/0 ; avec 7 millimètres, l'augmentation atteint 50 0/0, et avec 16 millimètres, 150 0/0. Ce résultat d'expérience montre l'intérêt qu'il y a, même pour l'économiseur, à n'employer que des eaux préalablement épurées.

Quant à la récupération des calories contenue dans l'eau provenant de la condensation, elle est insignifiante : $\frac{1}{30}$ environ des calories contenues dans la vapeur d'échappement.

Cette récupération se justifie lorsque l'eau injectée dans la chaudière provient d'un condenseur de turbine qui rejette une eau relativement propre, mais elle risque d'être plus nuisible qu'utile lorsque l'eau provient d'un condenseur de machine à piston, car cette eau contient des graisses qui, introduites dans les chaudières, donnent lieu aux accidents les plus graves.

98. Température de réchauffage. Utilisation des calories de la fumée. — La température de réchauffage que l'on peut atteindre est différente dans ces trois cas.

Lorsqu'on récupère les calories contenues dans les gaz allant à la cheminée, la température de réchauffage que l'on peut obtenir est relativement faible, du moins théoriquement.

Cette récupération ne peut se faire, du reste, que si la température des gaz est supérieure à 300°.

Ainsi, en supposant que la température des gaz de la cheminée est de 350°, on utilisera (350 — 250) 0,20 calories environ par mètre cube de gaz, car il est nécessaire de ne pas entraver le tirage en rejetant à la cheminée des gaz trop froids — on a admis 250° pour cette température, et 0,20 pour la chaleur spécifique de ces gaz.

Comme 1 kilogramme de charbon brûlé sur la grille fournit 16 mètres cubes de gaz, on disposera de 16 × 20 = 320 calories environ par kilogramme de charbon brûlé.

Si on évalue à 1 kilogramme de charbon la dépense de combustible correspondant à un cheval-heure, on disposera de :

320×1 kilogramme = 320 calories environ par cheval-heure.

Ces 320 calories permettraient d'élever de 32° la température des 10 kilogrammes d'eau nécessaires pour fournir un cheval-heure en évoluant dans une chaudière et une machine à vapeur.

Si cette eau sort d'un condenseur à mélange et qu'elle ait par suite une température voisine de 40°, le réchauffage aura pour effet de la porter à 70° environ.

En réalité, on dépasse souvent cette température de réchauffage, car on considère parfois le réchauffeur comme un organe de la chaudière proprement dite, ajoutant sa surface de chauffe indirecte à celle de la chambre elle-même. Le réchauffeur est alors placé dans un courant de gaz chauds, à une température notablement supérieure à celle de 350° admise ci-dessus ; et, si le tirage est amélioré, la température des gaz de la cheminée peut elle-même être inférieure à 250°, circonstances qui permettent d'utiliser pour le réchauffage un nombre de calories bien supérieur à celui qui est envisagé ci-dessus.

99. Température de réchauffage. Utilisation des vapeurs d'échappement. — Lorsqu'on utilise les vapeurs d'échappement, on ne peut dépasser, dans le réchauffage, la température de ces vapeurs, c'est-à-dire 100° dans le cas de l'échappement à l'air libre.

La chaleur est cédée par convection, car la vapeur passe dans des tuyaux en serpentins entourés de l'eau d'alimentation pour se rendre dans l'atmosphère.

Lorsqu'on veut réchauffer l'eau d'alimentation à plus

de 100°, pour produire en même temps l'épuration de cette eau, on est obligé d'employer des vapeurs d'échappement à plus de 100°, c'est-à-dire à une pression supérieure à la pression atmosphérique.

On utilise dans ce cas la vapeur d'échappement des cylindres à haute et moyenne pression des machines à expansions multiples.

Cette vapeur est tirée des réservoirs intermédiaires au moyen d'un tiroir spécial qui laisse passer la quantité de vapeur nécessaire au réchauffage.

On peut admettre que ce poids de vapeur varie du $\frac{1}{7}$ au $\frac{1}{12}$ du poids total admis à la machine; elle est utilisée, en général, par mélange avec l'eau à chauffer. Le travail total est réduit d'autant, mais l'opération permet d'employer au réchauffage de l'eau toute la chaleur de vaporisation que contient la vapeur.

On conçoit donc que ce mode de réchauffage puisse être avantageux dans certains cas.

100. Température de réchauffage. Utilisation de la vapeur vive. — Lorsque le réchauffage doit donner à l'eau une température suffisante pour qu'elle s'épure par la chaleur, c'est-à-dire 150° environ, on est obligé parfois d'avoir recours à la vapeur vive et, dans ce cas, on opère le réchauffage par mélange et non par convection.

La température de réchauffage peut atteindre, à 15 ou 20° près, celle de la vapeur employée.

ORGANISATION DES ÉCONOMISEURS

101. Généralités. — Les économiseurs sont consti-

tés par une série de tubes en fonte réunis par des collecteurs et montés dans les gaines de fumée des générateurs.

Ils sont organisés de manière que la transmission de la chaleur se fasse dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire que l'eau la plus froide soit dans les régions les plus chaudes du foyer.

Quelle que soit la disposition adoptée, il existe toujours des éléments relativement froids sur lesquels se dépose de la suie chargée d'acide sulfureux. Celui-ci qui provient de la combustion de charbons pyriteux se transforme à basse température en acide sulfurique. C'est à cet acide que l'on doit attribuer les corrosions des éléments des économiseurs, corrosions que l'on a atténuées en substituant la fonte au fer dans la construction de ces appareils. On s'astreint en outre, dans le même but, à ne pas laisser descendre la température des gaz au-dessous de 150°.

L'économie que procure l'emploi de ce genre d'appareil est réduite par la présence de la suie, qui se dépose à l'extérieur des tubes, et du tartre, qui forme des dépôts à l'intérieur.

La suie est enlevée par des raclettes mises en mouvement mécaniquement. Le tartre est encore plus gênant que la suie et, pour remédier à l'inconvénient qu'entraînerait sa présence, on est amené à n'envoyer à l'économiseur que des eaux préalablement épurées.

Dans l'installation des économiseurs, il faut tenir compte de ce que la température de réchauffage peut atteindre et même dépasser la température de la chaudière. En tout cas, ces appareils sont susceptibles d'être le siège de pressions analogues à celles des chaudières à vapeur; ils doivent donc être traités comme elles en ce qui concerne l'installation des appareils de sécurité et de con-

trôle. Elles comportent, par suite, des soupapes de sûreté, des soupapes de purge, etc.

Les figures 81 et 82 représentent des installations comportant des appareils de ce genre.

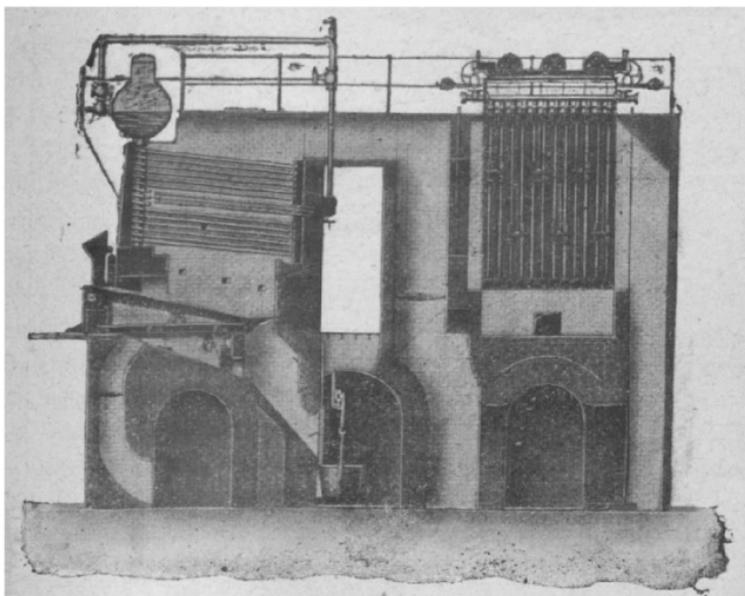


Fig. 81. — Chaudière Niclauss avec économiseur et surchauffeur.

ORGANISATION DES RÉCHAUFFEURS D'EAU D'ALIMENTATION

102. **Généralités.** — Les réchauffeurs utilisant la vapeur d'échappement ou la vapeur des réservoirs intermédiaires des machines, dans lesquels la chaleur est transmise par mélange, sont relativement peu employés, parce qu'ils ont l'inconvénient d'introduire dans l'eau d'alimentation les matières grasses qui sortent des machines, lorsque celles-ci sont des machines à piston.

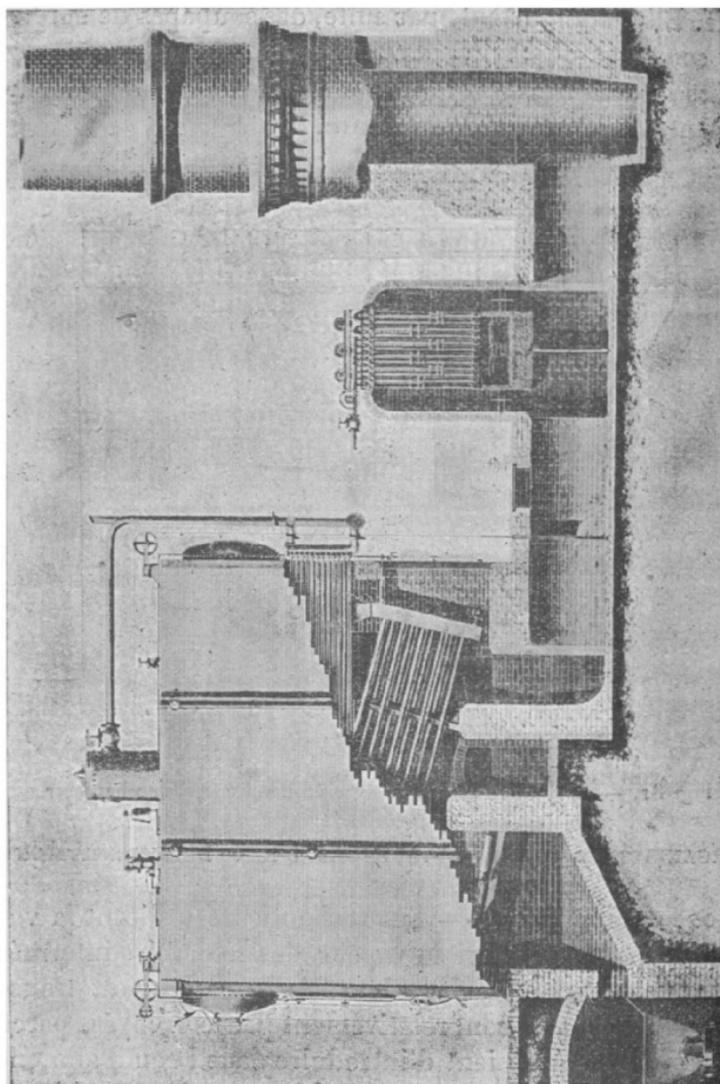


Fig. 82. — Chaudière Buttner type Leflaive et Cie avec surchauffeur et économiseur.

Ceux dans lesquels l'eau d'alimentation est séparée de la vapeur qui l'échauffe sont les plus répandus, et ils sont constitués comme des condenseurs à surface auxquels ils empruntent, du reste, leur mode d'action.

EXEMPLES D'INSTALLATION

Les économiseurs et les réchauffeurs d'eau d'alimentation sont généralement étudiés et installés par les constructeurs des chaudières auxquelles ils s'appliquent, car leur organisation et leur installation dépendent beaucoup de l'organisation du foyer et de la température des gaz qu'il rejette, du tirage de la cheminée et, en outre, des conditions particulières à l'installation du générateur proprement dit.

Nous donnerons, à titre d'exemple, une description sommaire d'un économiseur et d'un réchauffeur utilisant la vapeur d'échappement.

103. **Economiseur Green** (Construit par MM. Green, constructeurs à Manchester). — L'économiseur Green (fig. 83) se compose d'un certain nombre de tubes en fonte de 12 à 15 centimètres de diamètre et de 2^m,50 à 3^m,00 de hauteur, placés verticalement sur le trajet des gaz allant à la cheminée. Ces tubes se greffent à leur partie inférieure et à leur partie supérieure sur des collecteurs horizontaux.

L'eau entre dans l'économiseur par le collecteur inférieur et du côté des gaz les plus chauds, et il sort par le collecteur supérieur, dans la partie où les gaz sont le moins chauds. La transmission de la chaleur à l'eau se fait ainsi dans de bonnes conditions, mais la partie inférieure est relativement froide et exposée aux corrosions.

Des racloirs nettoyeurs assurent le nettoyage extérieur des tubes; ils sont maintenus en fonctionnement d'une façon presque permanente.

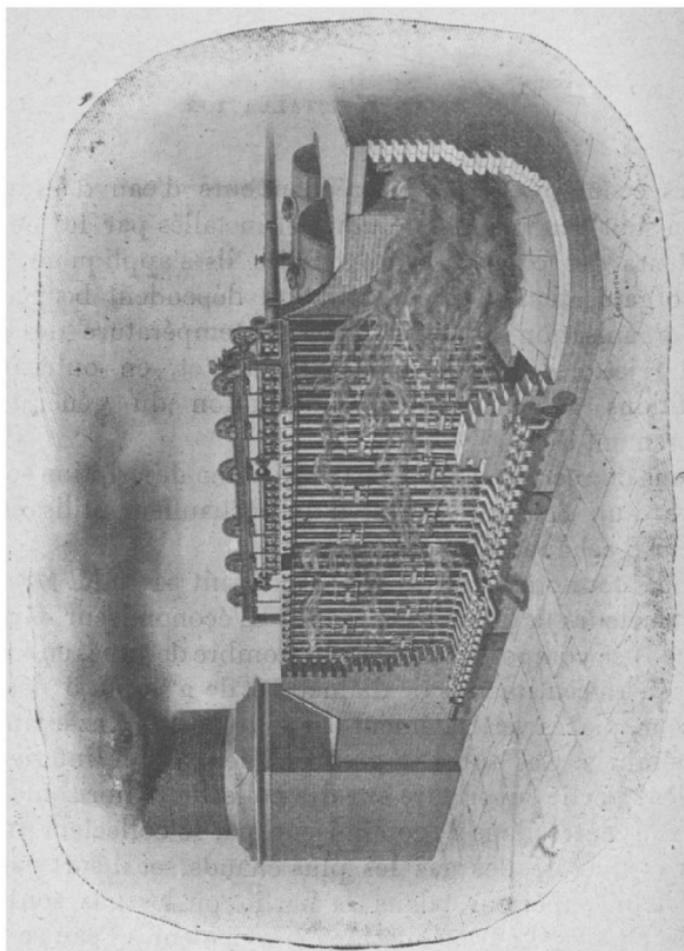


Fig. 83. — Ecoroiseur Green.

L'appareil est muni, comme la plupart des appareils

du même genre, d'une soupape de sûreté et d'une soupape de purge.

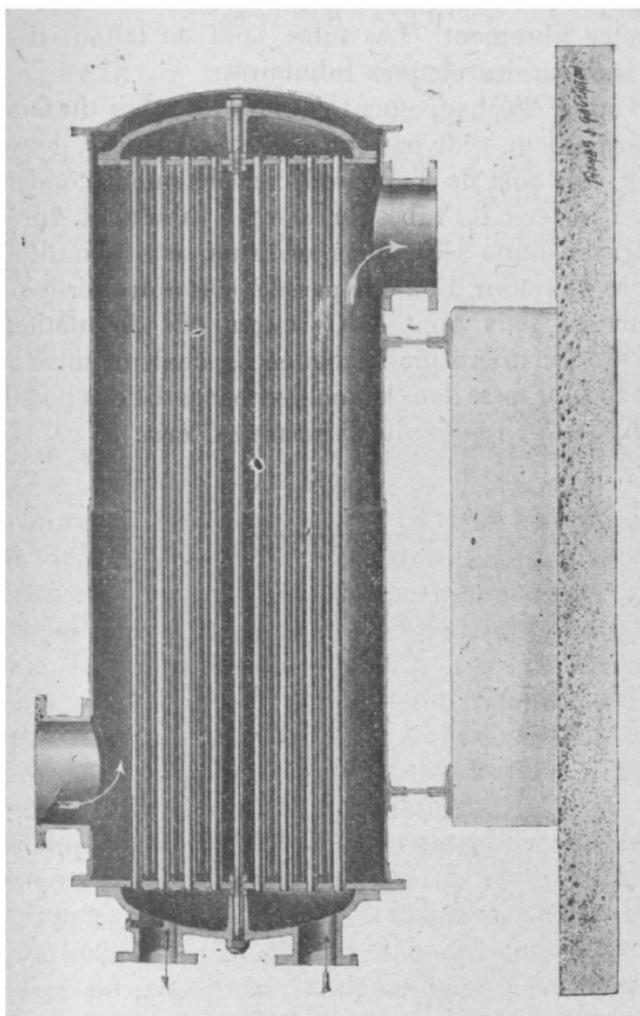


Fig. 84. — Réchauffeur d'eau Biatrix, Lallaive et Cie.

104. Réchauffeur d'eau d'alimentation (Construit

par MM. Biétrix, Leslaive et C^{ie}). — L'appareil se compose d'un faisceau tubulaire enfermé dans un réservoir cylindrique par rapport auquel il peut se dilater et se contracter librement : Les tubes sont en laiton, ils sont mandrinés sur des plaques tubulaires.

La vapeur d'échappement entoure les tubes du faisceau tubulaire et leur cède par convection sa chaleur de vaporisation, elle sort de l'appareil complètement condensée.

L'eau traverse les tubes du faisceau tubulaire. Après en avoir traversé une série dans un sens, elle aboutit à une chambre de retour d'où elle passe à une autre série qu'elle parcourt en sens opposé. Ce circuit de circulation est organisé de manière que l'échange de chaleur entre la vapeur et l'eau se fasse dans les meilleures conditions possibles.

La figure 84 représente l'appareil décrit.

CHAPITRE XIX

EPURATION DES EAUX D'ALIMENTATION

105. **Considérations générales.** — L'eau contient, indépendamment d'une certaine quantité *d'air et d'acide carbonique dissous*, des sulfates et des carbonates de chaux à l'état de bicarbonates solubles. Les carbonates forment des dépôts relativement friables, mais les dépôts de sulfates sont durs et adhérents. Indépendamment des risques d'explosion auxquels ils donnent lieu, ces dépôts ont, en outre, l'inconvénient de réduire beaucoup le coefficient de vaporisation, aussi doit-on les éviter en épurant les eaux d'alimentation.

En outre, lorsque l'eau a déjà travaillé sous forme de vapeur dans une machine à pistons, et qu'elle a été condensée, elle contient des matières graisseuses.

Lorsque les sels calcaires sont en petite quantité, on se contente de provoquer leur dépôt, et de les empêcher d'adhérer aux tôles, par l'emploi de *tartrifuges* ou de *désincrustants*. Les chaudières sont toujours organisées de manière que les boues déposées soient entraînées, par la circulation, en dehors des surfaces directes de chauffe, dans des débourbeurs, d'où on peut facilement les extraire, en pleine marche, par l'ouverture d'un robinet de vidange.

Lorsque les sels sont en grande quantité, on épure l'eau avant de l'employer à l'alimentation des chaudières. On est obligé de passer par l'intermédiaire d'un épurateur mais, par contre, on peut réduire beaucoup l'installation des

chaudières de rechange qu'il faut toujours prévoir dans les stations qui emploient des eaux très calcaires.

Quant à la graisse, elle est toujours très nuisible parce qu'elle entrave l'échange de chaleur entre la tôle et l'eau, et aussi, parce qu'elle peut, en isolant la tôle de l'eau, permettre à cette tôle d'atteindre la température du rouge; enfin, parce que les graisses forment avec la vapeur une émulsion qui conserve de l'eau en suspension et diminue le degré de siccité de la vapeur produite. On s'en débarrasse en obligeant l'eau à traverser des filtres à éponges, à copeaux ou à serviettes.

L'épuration des eaux ne contenant que des sels calcaires peut se faire par deux procédés :

- 1° par la chaleur ;
- 2° au moyen de réactifs.

106. Epuration de l'eau par la chaleur. — L'échauffement de l'eau vers 150° provoque la précipitation des carbonates par transformation des bicarbonates solubles en carbonates insolubles. Les sulfates sont aussi précipités, parce qu'ils sont moins solubles à chaud qu'à froid, et qu'ils sont tout à fait insolubles vers 135°.

Enfin, l'air et l'acide carbonique disparaissent sous l'effet de la chaleur.

L'épuration se fait généralement dans un récipient voisin de la chaudière. Dans un grand nombre de chaudières, chaudières Belleville, Mathot, etc., l'épuration par la chaleur se fait dans la chaudière elle-même et sans qu'il soit nécessaire d'employer pour cela aucun dispositif particulier. Dans d'autres, dans les chaudières de Naeyer, par exemple, on fait l'épuration en alimentant dans la vapeur.

Cependant, quelquefois, de véritables épurateurs sont organisés à l'intérieur de la chaudière, dans le dôme notamment, et le dépôt des carbonate et sulfate de chaux est provoqué, à la fois, par des réactifs et par la chaleur.

107. Epuration de l'eau au moyen de réactifs. —

Le bicarbonate de chaux peut être précipité par la chaux ou par la soude, ce dernier réactif étant employé à l'état de soude caustique ou à l'état de carbonate. On emploie généralement la chaux pour épurer des eaux ne contenant que des carbonates, et on réserve la soude pour précipiter les sulfates.

Le sulfate ainsi que le carbonate sont précipités par l'aluminate de baryte, aussi ce réactif est-il très employé malgré son prix relativement élevé.

Le réactif donne avec l'acide carbonique et l'acide sulfurique des combinaisons insolubles; par son alumine, il donne avec la chaux un aluminat insoluble.

L'épuration pourrait se faire dans la chaudière elle-même, mais il est préférable de la faire dans des appareils indépendants.

Elle comprend trois opérations distinctes :

- 1° le mélange et le brassage des réactifs avec l'eau ;
- 2° le filtrage, sur copeaux en général ;
- 3° la décantation dans un réservoir à chicanes et de grande surface.

Pour chacune de ces opérations l'imagination des inventeurs a donné naissance à un grand nombre d'appareils ou de dispositifs pour le détail desquels nous renvoyons le lecteur aux ouvrages spéciaux ¹.

Lorsque l'épuration chimique est nécessaire, le poids de

¹ G. BOURREY. Voir E. S. *L'eau dans l'industrie*.

réactif à employer est déterminé avec soin suivant les résultats d'une analyse complète ou simplement d'un essai hydrotimétrique¹ de l'eau utilisée, car une eau trop alcaline, contenant un excès de soude par exemple, introduite dans une chaudière, aurait le grave inconvénient d'occasionner des corrosions de ses tôles et même de sa tuyauterie de vapeur.

Lorsqu'on se sert de l'aluminate de baryum le nombre de grammes à employer par mètre cube d'eau est égale à 10 fois le degré hydrotimétrique de l'eau à épurer¹.

¹ (On appelle degré hydrotimétrique d'une eau, la proportion de sels de chaux et de magnésie qu'elle renferme.

Sa détermination est basée sur l'observation suivante :

Si l'on verse goutte à goutte dans l'eau à essayer une dissolution alcoolique titrée de savon, il se forme d'abord des grumeaux insolubles par suite de la combinaison des acides gras du savon avec la chaux et la magnésie; puis, lorsque le précipité est formé, il suffit d'ajouter une seule goutte de solution pour obtenir, par agitation, une mousse nctueuse et persistante.

La liqueur titrée est composée de manière qu'une division de la burette graduée, au moyen de laquelle on la verse, corresponde à la saturation de 0^{gr},4 de carbonate de chaux. On opère sur 40 centimètres cubes; chaque division représente 10 milligrammes par litre, soit 1 : 100 000 centimètre cube de sels terreux.

Une eau qui mousse lorsqu'on a versé 20 divisions de solution savonneuse a 20° à l'hydrotimètre.

Le degré hydrotimétrique d'une eau potable, est compris entre 3° et 25°.

De 15 à 30°, elle peut servir au blanchissage et à l'alimentation des chaudières.

L'eau de Seine titre de 20 à 25° hydrotimétriques, et elle convient bien pour l'alimentation des chaudières, sans qu'il soit indispensable de l'épurer dans des appareils spéciaux, mais certaines eaux du bassin parisien titrent jusqu'à 80 degrés hydrotimétriques et, pour ces eaux, l'épuration méthodique s'impose.

DESCRIPTION DE QUELQUES ÉPURATEURS

108. **Epurateur automatique système Desrumaux.** — (Société « l'Épuration des eaux » à Paris). — L'épurateur Desrumaux comprend :

1° *Un décanteur*, dont le rôle est d'opérer la séparation par décantation de l'eau épurée et des calcaires précipités par les réactifs, et de filtrer cette eau.

2° *Un réservoir à réactifs*, dont le débit est réglé par le fonctionnement d'un *flotteur régulateur* ;

3° *Un saturateur*, préparant le lait de chaux saturé, nécessaire à la précipitation des carbonates ;

4° *Un bac de distribution*, dont le rôle est de distribuer l'eau, le lait de chaux et les réactifs au décanteur. Son fonctionnement résulte de la position du niveau de l'eau épurée dans le décanteur.

Le décanteur Desrumaux représenté en F (fig. 85) comprend essentiellement un grand récipient cylindrique vertical, fermé dans le bas, par un fond conique muni d'une soupape de vidange, et portant, dans sa partie centrale, un cylindre ouvert à chacune de ses extrémités, autour duquel s'enroulent plusieurs rangées superposées de lames métalliques, tenant du cône par leur inclinaison et de l'hélice par leur développement. On les appelle, pour cette raison, surfaces hélico-conoïdales.

L'appareil a pour but de diviser la masse d'eau en nappes minces, de façon à activer la clarification en réduisant la hauteur de chute des particules solides qu'il s'agit de décanter. Il doit avoir des surfaces de décantation favorisant le glissement des particules solides ; en outre,

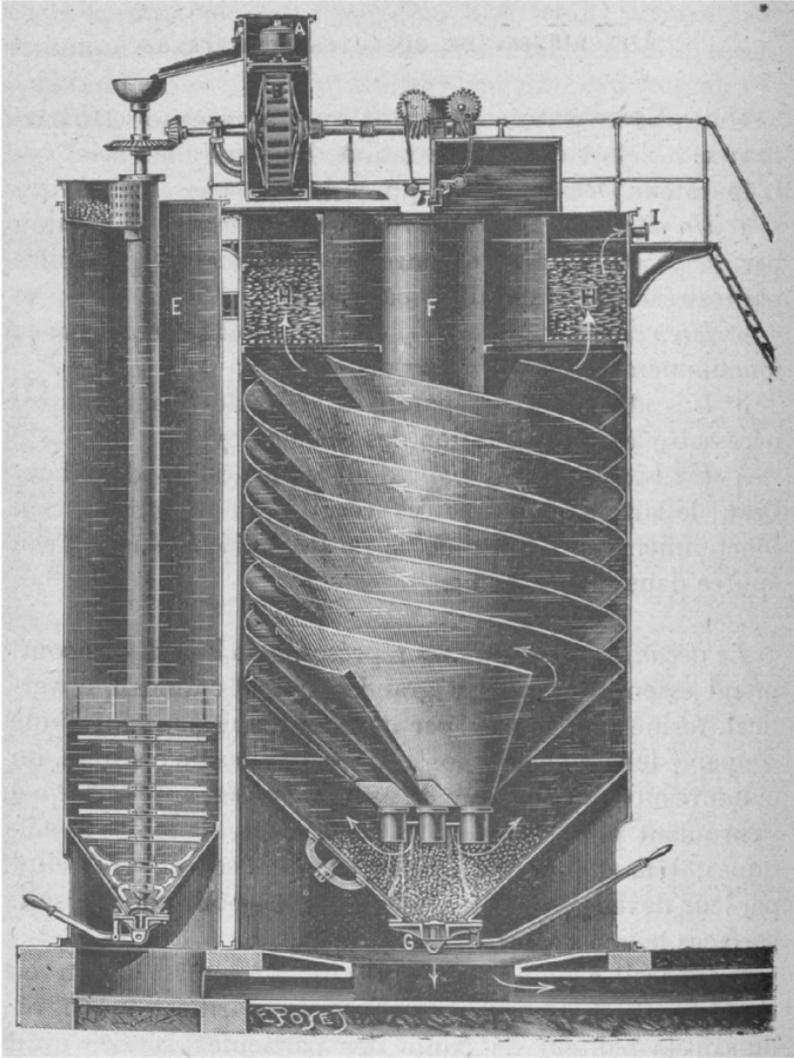


Fig. 85. — Epurateur Desrumaux.

il doit, en soustrayant celles-ci à l'entraînement des veines liquides en mouvement, assurer à l'eau la direction la plus favorable à la clarification, et aux dépôts, l'acheminement le plus direct pour leur évacuation.

L'eau et les réactifs épurants se déversent dans le cylindre intérieur, formant colonne de réaction, et descendent vers le fond de l'appareil. Passant ensuite sous la tranche du cylindre central, l'eau prend un mouvement ascensionnel et se divise, également, entre les rangées superposées des surfaces de décantation.

En s'élevant dans le système hélicoïdal, le liquide en réaction se trouve naturellement partagé en tranches distinctes, séparées les unes des autres par les lames hélico-conoïdales, de telle sorte que les dépôts abandonnés par les couches supérieures ne peuvent, en tombant, souiller les nappes des sphères inférieures qui se clarifient.

D'autre part, l'eau, en s'élevant et en se clarifiant progressivement, suit toujours les régions supérieures des espaces compris entre les hélices, tandis que les dépôts, au contraire, en vertu de leur densité, gagnent les régions inférieures et atteignent rapidement les surfaces de décantation sur lesquelles ils glissent, à l'abri de l'action entraînant des courants ascensionnels, grâce à la forme des surfaces de décantation qui les fait converger vers les parties centrales; les particules solides, aussitôt déposées, se rassemblent aux endroits où les fentes sont le plus fortement accusées, ce qui facilite leur acheminement vers le fond de l'appareil ¹.

Pour que les dépôts, au bout de leur trajet, ne puissent pas être repris par l'eau affluante, les lames hélicoïdales

¹ Ch. JACOMET.

ont leur bord extrême inférieur relevé verticalement, de manière à arrêter les boues et à les diriger vers des poches terminales, d'où elles descendent par des collecteurs distincts dans le fond conique du décanteur, tenant lieu de réservoir à boues.

On opère l'extraction des dépôts en ouvrant chaque jour la soupape de vidange jusqu'à l'apparition de l'eau claire.

Pour nettoyer les surfaces de décantation on fait arriver un courant d'eau dans l'espace libre annulaire compris autour du cylindre intérieur. Cette eau tombe sur les surfaces de décantation et les parcourt, dans leur entier développement, en entraînant tous les dépôts.

L'eau, dépourvue de ses calcaires et des matières solides qui la souillaient, traverse en dernier lieu un filtre placé à la partie supérieure du décanteur; elle sort épurée et claire par la partie supérieure de l'appareil. Ce filtre est constitué par une couche de fibre de bois, légèrement comprimée entre deux rangées de tôles perforées.

Le réservoir à réactifs contient les produits, tels que la soude, l'aluminate de baryte, etc., nécessaires à la précipitation du sulfate de chaux, du chlorure de calcium, du carbonate de magnésie, du sulfate de magnésic, des sels de fer, d'alumine, des silicates, etc., qui peuvent être contenus dans l'eau à épurer.

Il contient la quantité de réactif nécessaire pour assurer l'épuration pendant le temps qui sépare deux chargements consécutifs.

La seule condition à lui imposer est de donner lieu à un écoulement régulier quel que soit le niveau de la solution dans le réservoir.

Dans l'épurateur Desrumaux, ce résultat est obtenu en distribuant la solution de réactif au moyen d'un *flotteur régulateur* en ébonite (fig. 87), dans lequel cette solution pénètre sous une charge invariable par un orifice percé sur le tube central du régulateur.

Ce tube central, relié par une tubulure latérale à un conduit de décharge flexible, étant maintenu par le flotteur annulaire à une distance toujours égale du liquide, la pression de ce dernier, au-dessus de l'orifice d'écoulement, reste effectivement constante.

Le tube central du flotteur régulateur peut être élevé ou abaissé à volonté, selon qu'on veut réduire ou augmenter le débit du réservoir à réactif; on le fixe à la hauteur voulue au moyen de vis de pression.

L'orifice inférieur du tube du flotteur régulateurs est bouché par un tampon dont l'ouverture et la fermeture sont commandées par le flotteur du bac de distribution.

La saturation de l'eau de chaux est obtenue, dans le *saturateur Desrumaux* représenté en E, en malaxant, automatiquement, la chaux avec l'eau à saturer, au moyen d'une roue hydraulique actionnée par l'eau à épurer (fig. 86).

Ce saturateur, de forme cylindro-conique, porte à sa partie supérieure un récipient servant à l'extinction de la chaux; il se termine, à la partie inférieure, par un clapet de purge, auquel fait suite une colonne, supportant tout l'appareil, et servant, en outre, à l'évacuation de la chaux épuisée. La partie centrale du saturateur est traversée, dans toute sa longueur, par un tube vertical armé de palettes dans le bas. Ce tube sert, tout à la fois, d'arbre pour le malaxage, et de conduit pour l'introduction de

l'eau à saturer sous les palettes, disposition qui assure la saturation, et permet d'actionner le malaxeur par le simple poids de l'eau à épurer arrivant sous pression à l'épurateur.

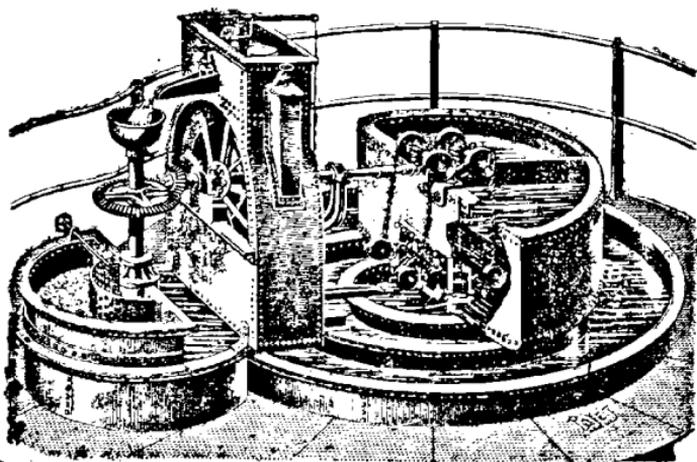


Fig. 86. — Epurateur Desrumaux (Doseur automatique).

Cependant, un moteur hydraulique mis en mouvement par l'eau à épurer tombant dans le décanteur, actionne l'arbre par engrenages.

La chaux est versée dans l'extincteur du saturateur où, baignée par l'eau, elle s'éteint d'elle-même. Pour charger l'appareil on la fait descendre dans la caisse du malaxeur en ouvrant une vanne à crémaillère qui met en communication le fond de l'extincteur avec un conduit, concentrique au tube central, et s'arrêtant un peu au-dessus des palettes. La bouillie de chaux remplit ainsi la caisse de malaxage.

réactifs, et la soupape de distribution de l'eau qui va au décanteur en faisant tourner la roue hydraulique. Il commande également l'ouverture de l'eau au saturateur, ce qui a pour effet de chasser une quantité égale de solution saturée dans le décanteur.

L'épurateur à préparation automatique de réactifs système *Langumier et Buchet* comprend des dispositifs du même genre remplissant le même but.

109. Epurateurs Système Buron. Epurateur à froid, à préparation automatique de réactifs. — L'appareil comprend une cuve cylindrique, terminée à sa partie inférieure par une partie conique formant entonnoir, à l'intérieur de laquelle se trouve un cylindre concentrique, ouvert à ses deux extrémités. L'intervalle compris entre ces deux parois est garni de chicanes (fig. 88).

L'eau à épurer arrive dans le cylindre central où tombent en même temps qu'elle l'eau de chaux saturée préparée par l'appareil lui-même et la dissolution de soude faite à part et contenue dans un réservoir placé au-dessus de la cuve. La réaction s'opère dans ce récipient, les dépôts tombent au fond de l'entonnoir, d'où ils sont expulsés périodiquement.

L'eau remonte par l'intervalle annulaire, elle cède encore les matières qu'elle tient en suspension, par suite de la faible vitesse qu'elle prend sous l'influence des chicanes qu'elle rencontre, puis elle arrive à la partie supérieure de la cuve, et sort de l'appareil après avoir traversé un filtre.

Le lait de chaux est préparé de la manière suivante :

Un robinet déverse de l'eau sur de la chaux éteinte

mise dans un panier placé à la partie supérieure de l'appareil. L'eau de chaux ainsi formée passe ensuite dans un récipient où elle est malaxée par une roue à augets mise en mouvement par l'eau déversée dans le cylindre central. Elle passe ensuite dans un réservoir d'où elle s'écoule dans l'eau à épurer au moment où celle-ci pénètre dans le cylindre central. La difficulté est d'obtenir un dosage constant du réactif, et une distribution uniforme de celui-ci. L'organisation de cet appareil permet de réaliser facilement ces deux conditions.

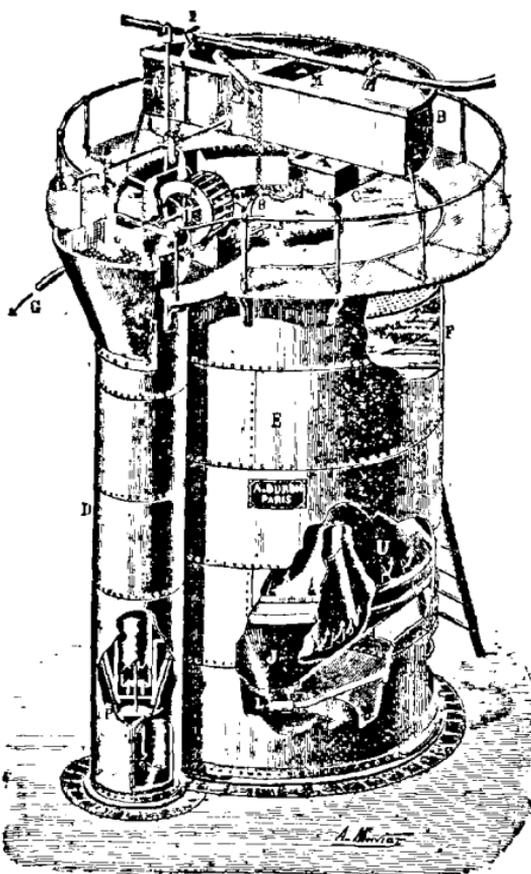


Fig. 88. — Epurateur Buron à réactifs.

L'épurateur automatique Kennicot se compose aussi d'une colonne cylindrique au centre de laquelle se trouve

le cône de descente des eaux renfermant lui-même le saturateur d'eau de chaux. Le dosage des réactifs se fait automatiquement, et en proportion de l'eau à épurer, qui est elle-même réglée par un dispositif mécanique approprié.

110. Epurateur Buron par la vapeur d'échappement. — Le but de l'appareil est d'utiliser la vapeur d'échappement des machines pour épurer l'eau et, en outre, de permettre d'alimenter des chaudières avec de l'eau à une température constante, voisine de 100°.

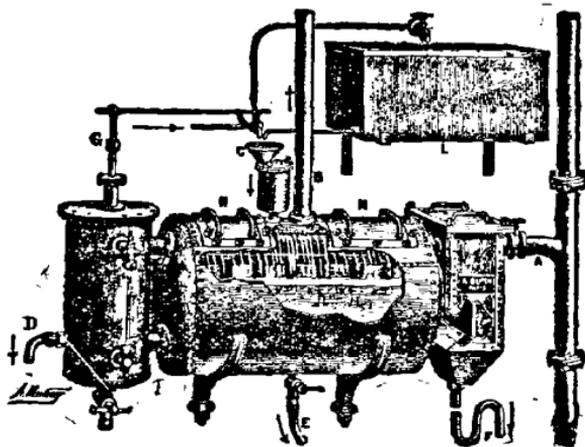


Fig 89. — Epurateur-réchauffeur Buron.

(fig. 89).

L'eau à épurer arrive également dans ce cylindre et y conserve, grâce à un dispositif approprié, un niveau absolument constant.

Les tuyaux de vapeur débouchent à une très faible distance au-dessous de ce niveau, et la vapeur, préalablement débarrassée de l'huile qu'elle contient, produit un

L'appareil se compose d'un récipient cylindrique horizontal, dans lequel débouchent des tuyaux mis en communication avec la conduite d'échappement des machines

harbotage qui provoque le dégagement de l'acide carbonique et la séparation des sels calcaires.

L'eau en arrivant dans le cylindre se répand sur une rigole métallique perforée d'où elle tombe en pluie fine en traversant la nappe de vapeur. Celle-ci s'échappe par un tuyau traversant le cylindre par sa partie supérieure.

Les boues résultant de l'épuration sont évacuées par un robinet de vidange ; l'appareil comporte, en outre, un ou plusieurs trous d'homme permettant le nettoyage intérieur. L'appareil permet de purifier des eaux contenant des carbonates, mais, lorsqu'elles contiennent des sulfates, il est utile d'achever leur épuration en faisant agir sur elles une solution de soude.

Le mélange est fait avant l'entrée de l'eau dans l'appareil. Les dépôts se forment très rapidement et l'opération ne nécessite qu'une quantité relativement faible de réactif.

111. Epurateur Système Granddemange (MM. Mazeran et Sabrou, constructeurs à Paris). — Cet appareil (fig. 90) utilise la vapeur, le plus souvent la vapeur d'échappement des machines, pour porter l'eau d'alimentation à l'ébullition et provoquer le départ de l'acide carbonique et de l'air, ainsi que le dépôt du calcaire qu'elle contient.

Il se compose de plusieurs réservoirs ou cuves en tôle superposées, laissant entre elles un certain intervalle pour le passage de la vapeur, et permettant aussi à l'eau de tomber en cascade d'une cuve sur la cuve suivante.

En dessous de ces réservoirs où se produisent les dépôts, une cuve réservoir recueille l'eau épurée.

Un flotteur de cette cuve commande l'arrivée de l'eau dans l'appareil.

Lorsque les eaux d'alimentation sont très chargées en

sulfate de chaux, on ajoute à l'eau, avant son entrée dans l'appareil, une certaine quantité de carbonate de soude.

Les dépôts se font dans les cuves, celles-ci sont faciles à démonter et à nettoyer.

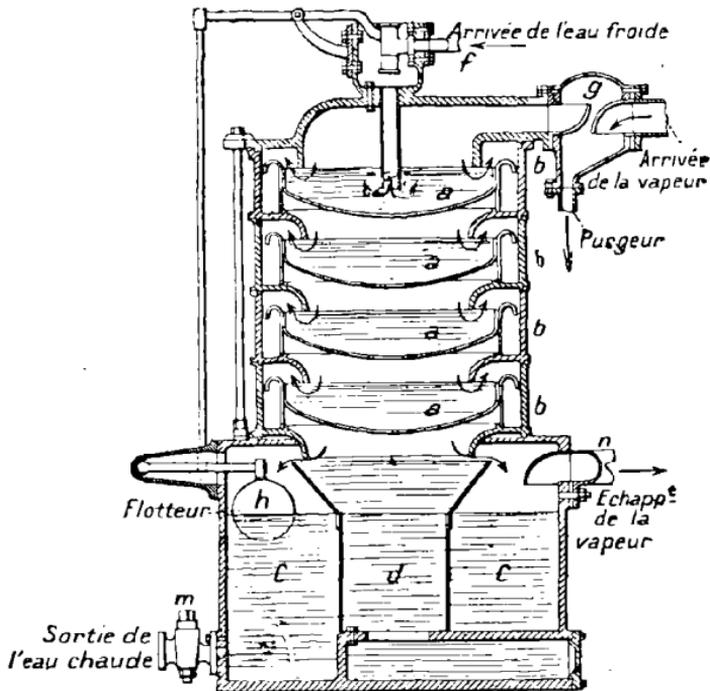


Fig. 90. — Epurateur Granddémange.

Dans l'épuration au moyen de la vapeur d'échappement, il suffit du $\frac{1}{3}$ de cette vapeur pour détartre la quantité d'eau nécessaire à l'alimentation.

De plus, cette eau étant portée à une température voisine de 100° , la consommation de charbon se trouve réduite dans de grandes proportions, la vaporisation est

notablement augmentée, et les tôles ne supportent pas les fatigues que lui cause, dans les chaudières opérant elles-mêmes leur épuration, l'arrivée d'une eau froide sur des tôles relativement chaudes.

112. **Epurateur Système Howatson et C^{ie}** (M. Howatson à Neuilly-sur-Seine). — Le système d'épuration *Howatson* comporte l'emploi de la chaux et de la soude ; il élimine des eaux d'alimentation le carbonate et le sulfate de chaux et il précipite aussi les autres sels incrustants, l'oxyde de fer, la silice et les matières organiques.

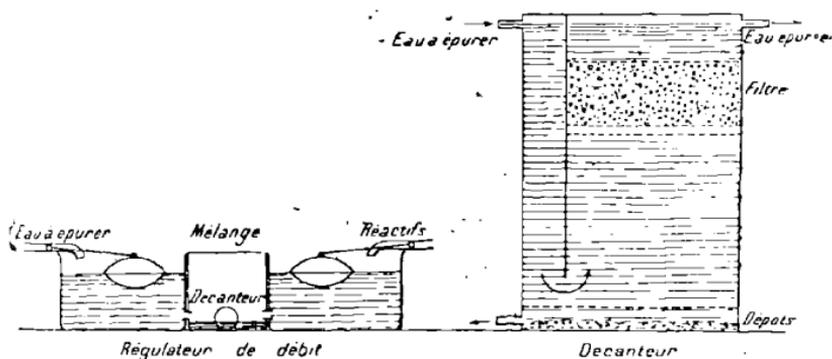


Fig. 91. — Epurateur Howatson.

L'épurateur comprend un bac régulateur du débit des différents liquides et un décanteur.

Le bac régulateur a pour but de régler le débit de l'eau et des réactifs d'une façon absolument automatique.

A cet effet, l'eau à épurer et les réactifs sont distribués par deux bassins différents dont le débit est réglé par une ouverture convenable de leur orifice d'écoulement.

Ces orifices, qui restent invariables pour une même eau d'alimentation, débouchent dans un troisième bassin,

compris entre les deux précédents, et d'où part la tuyauterie de communication avec le décanteur. Leur débit dépend de la différence de niveau existant respectivement entre chacun des deux premiers bassins et du troisième.

Pour des ouvertures préalablement réglées, une eau à épurer donnée, et un régime normal fixé, il est nécessaire que le niveau reste invariable dans les deux premiers bassins. Cette condition est réalisée par les robinets commandés par des valves à flotteur qui déversent l'eau et les réactifs dans les bassins.

Un bac de réserve communiquant avec le bassin intermédiaire régularise le niveau de ce bassin.

L'appareil se règle de lui-même. Si on cesse de prendre de l'eau épurée, le niveau monte dans le bac intermédiaire et le bac de réserve, les orifices d'écoulement sont immergés sous une plus grande hauteur qu'un régime normal.

La différence de niveau, d'où résulte la vitesse d'écoulement diminue, et le débit de chacun des bassins est lui-même diminué, dans une même proportion, puisque les niveaux sont les mêmes.

Le *decanteur* est un réservoir cylindrique ou parallélépipédique dont les dimensions sont déterminées par la composition et la quantité de l'eau à épurer.

Il est divisé en deux compartiments inégaux par une cloison verticale qui descend jusqu'à 35 centimètres du fond. Le mélange d'eau et de réactif arrive par la partie supérieure du compartiment le plus petit, il descend au fond du réservoir et se rend dans le grand compartiment qu'il parcourt de bas en haut jusqu'à un filtre qui arrête au passage les matières solides restantes.

La réaction se fait dans le petit compartiment.

Des flocons de matières précipitées se forment et tombent dans le fond du récipient.

Un double fond permet de séparer la matière déposée de celle qui est en suspension dans l'eau. Ces dépôts sont évacués par un robinet de vidange placé à la partie inférieure du double fond.

L'ouverture de ce robinet provoque une chasse qui, en même temps, nettoie l'appareil tout entier.

L'appareil est accompagné d'un saturateur automatique d'eau de chaux dans lequel se prépare le lait de chaux employé.

La solution de soude se prépare dans un bac spécial, elle se déverse dans le décanteur. Le réglage de son débit se fait au moyen d'un dispositif analogue à celui qui règle l'arrivée du lait de chaux.

Le réchauffeur détartréur système *Langumier et Buchet* ressemble beaucoup au précédent.

L'épurateur automatique système *Declercq* comprend les mêmes organes essentiels que la plupart des appareils du même genre opérant à froid au moyen de réactifs. Dans le saturateur compound on récupère la chaux perdue dans les purges.

113. Détartreur Howatson. — Le détartreur Howatson, utilisant la vapeur, s'emploie pour l'épuration des eaux d'alimentation qui contiennent du bicarbonate de chaux mais pas de sulfate de chaux (fig. 92).

L'appareil se compose d'un réservoir cylindrique fermé dans lequel se trouve disposé un ensemble de plateaux en tôle ayant chacun la forme d'un cercle auquel il man-

querait un segment. Le segment absent se trouve placé alternativement à droite et à gauche dans la succession des plateaux.

Le plateau inférieur repose sur une cloison verticale

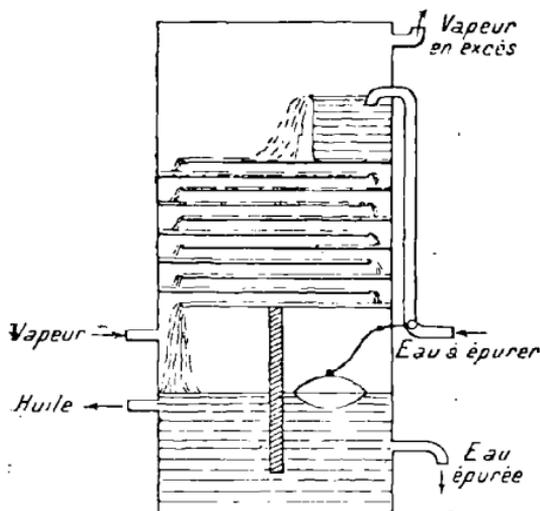


Fig. 92. — Détartreur Howatson

inférieur.

L'eau à détartrer arrive dans un petit bac disposé au sommet de la pile de plateau; elle tombe en cascade jusqu'en bas de cette pile et, de là, dans le compartiment du réservoir inférieur qui reçoit la vapeur. Celle-ci monte à l'intérieur de la colonne, et celle qui est en excès sort par un tuyau du sommet de l'appareil. L'eau et la vapeur ayant des trajets inverses se mélangent intimement, l'eau s'échauffe en absorbant la chaleur de vaporisation que lui cède la vapeur, les calcaires se déposent sur les plateaux, et aussi au fond du réservoir. On nettoie les plateaux et on vidange le fond du réservoir.

séparant en deux compartiments communiquant par leur partie inférieure le réservoir d'eau détartrée.

La vapeur arrive à la partie supérieure de l'un de ces compartiments, c'est-à-dire en dessous du plateau

Un flotteur placé dans le deuxième compartiment du réservoir agit sur l'arrivée d'eau à épurer et règle le débit de l'appareil. Enfin, un robinet placé un peu au-dessous du niveau de l'eau dans le réservoir permet l'évacuation des matières grasses amenées par la vapeur d'échappement des machines à pistons.

114. **Epurateur Dervaux.** — Dans l'épurateur Dervaux qui emploie la vapeur d'échappement (fig. 93), l'eau à épurer arrive par une soupape A dans un bouilleur B où elle se mélange à un courant de vapeur V.

L'eau passe ensuite par le conduit C dans un réservoir décan- teur D où les sels précipités se dé- posent.

L'eau épurée s'écoule par une tubulure de trop-plein à niveau fixe N.

Cet épurateur, comme tous ceux qui opèrent par mélange, possède un dégaisseur de vapeur placé sur le trajet de la vapeur se rendant dans l'épurateur.

L'épurateur échauffeur système Delhotel¹ utilise aussi la vapeur d'échappement dans un appareil composé de cylindres concentriques formant chambre de mélange et de décantation. Il est

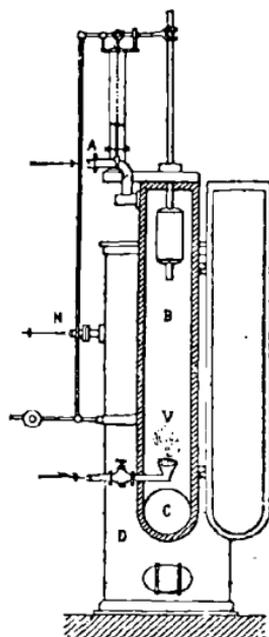


Fig. 93.
Epurateur Dervaux.

¹ G. BOURREY. Voir E. S. *L'eau dans l'industrie.*

complété, pour l'élimination des sulfates par un distributeur de réactifs fonctionnant automatiquement.

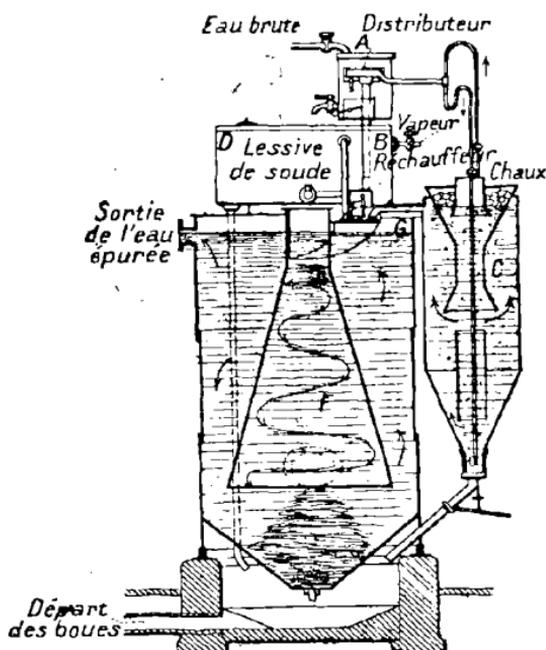


Fig. 94. — Epurateur Steinmuller.

Le bouilleur décanter Lemaire ainsi que l'épurateur automatique système Steinmuller (fig. 94) font également une épuration combinée par la chaleur et au moyen de réactifs.

Il en est de même du détartreur Wol-luston.

115. Ré-chauffeur détartreur système Chevalet (M. Chevalet, constructeur à Troyes). — L'appareil comprend une *colonne détartrante* formée de cinq éléments facilement démontables, et constituant cinq étages dans chacun desquels l'épuration s'opère (fig. 95).

Chaque étage de la colonne reçoit la vapeur par sa paroi supérieure, et l'eau sur sa plate-forme inférieure ; chacun des tuyaux de vapeur fait communiquer la partie supérieure d'une chambre avec la chambre placée au-dessous d'elle, le débouché est recouvert d'une cloche dont les bords

sont constamment baignés par l'eau de la plate-forme. L'eau.

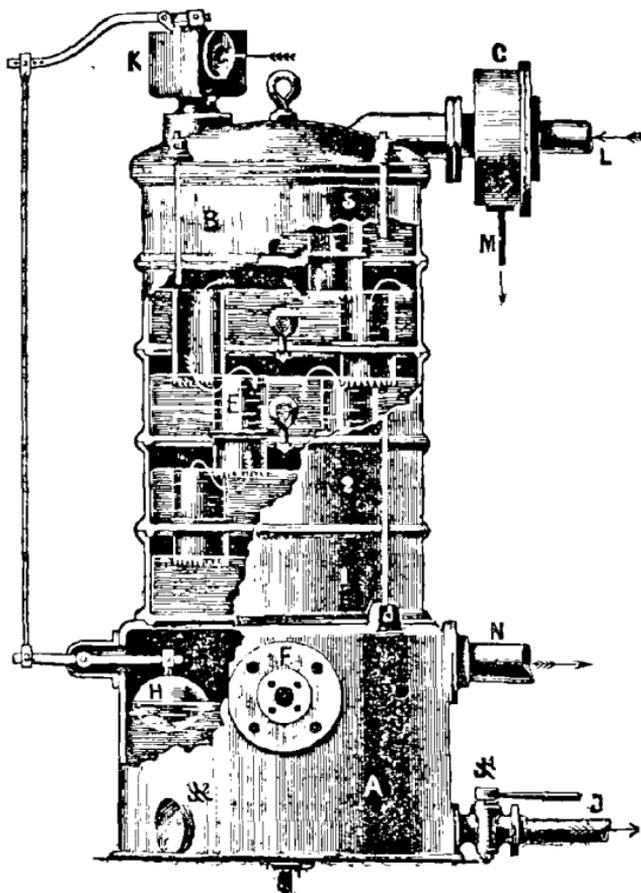


Fig. 95. — Réchauffeur détartréur Chevalet.

conserve dans chaque étage un niveau invariable par le jeu d'un trop-plein qui la déverse à l'étage inférieur.

Cette disposition oblige la vapeur à traverser l'eau de

chacun des étages de la colonne détartrante ; celle qui n'a pas été condensée s'échappe par la partie supérieure du réservoir d'eau détartrée.

L'eau est rapidement portée à l'ébullition ; elle abandonne ses sels calcaires qui se déposent sur les plateformes de la colonne détartrante. L'eau chaude, débarrassée de ses calcaires, descend par les tuyaux de trop-plein jusque dans le réservoir d'eau détartrée placé en dessous de la colonne détartrante.

Un flotteur de ce réservoir agit sur l'arrivée de l'eau dans l'appareil.

Une boîte spéciale placée sur le trajet de la vapeur retient les matières grasses que celle-ci contient lorsqu'elles sort de machines à piston.

Lorsque l'appareil doit épurer une eau contenant des sulfates, on mélange l'eau de carbonate de soude avant de lui faire subir le traitement par la chaleur.

L'épurateur système Lencauchez est un appareil du même genre.

116. Désincrustants. Généralités. — Lorsque l'eau ne contient pas assez de calcaires pour qu'il soit indispensable de l'épurer, on se contente d'empêcher les dépôts qui se forment d'adhérer aux tôles soit en leur donnant une consistance telle qu'ils puissent être facilement expulsés par les purges normales du générateur, soit en les empêchant de se coller aux tôles.

Les moyens employés consistent à appliquer diverses peintures à base de goudron sur les tôles, sauf sur celles de coup de feu.

Les peintures à base de graphite paraissent aussi être très appréciées. Il en est de même de tous les produits à

base de cachou ou de tannin qui fournit avec le tartre une couche non adhérente de matière gélatineuse.

On additionne aussi l'eau de glycérine, de pommes de terre râpées, de fécule, d'amidon; enfin on applique du pétrole à l'état d'essence sur les tôles.

La plupart de ces moyens sont inefficaces ou insuffisants, de plus ils font mousser le liquide et, par suite, ont pour effet de rendre la vapeur plus humide.

Il convient donc de les employer avec précaution et discernement, si l'on veut qu'ils rendent quelques services au point de vue du détartrage des chaudières.

On emploie aussi comme désincrustants les réactifs d'épuration, l'aluminate de baryte notamment; l'épuration se fait dans la chaudière et les dépôts sont entraînés par la circulation jusque dans le débourbeur.

Il est indispensable dans ce cas de n'employer que des produits purs, exempts de chlorures et de matières alcalines libres surtout, car ce genre d'impuretés occasionne toujours de graves corrosions aux chaudières. Il est nécessaire aussi que ces réactifs soient convenablement dosés en tenant compte du degré hydrotimétrique de l'eau, exactement comme lorsqu'il s'agit d'une épuration faite dans un épurateur séparé.

CHAPITRE XX

SÉCHAGE DE LA VAPEUR

117. Séparateurs d'eau et de vapeur. Sécheurs. — La vapeur n'est pas sèche lorsqu'elle sort de la chaudière et elle renferme toujours en suspension une certaine quantité d'eau.

La quantité d'eau ainsi entraînée mécaniquement est d'autant plus grande que la vaporisation est plus tumultueuse, c'est-à-dire que le dégagement de vapeur se fait sur une petite surface et par grandes quantités à la fois.

La proportion d'eau entraînée peut s'élever d'après M. Witz à 40 % du poids de vapeur produit, il n'est jamais inférieur à 3 %.

Les moyens employés pour séparer l'eau à l'état liquide de la vapeur, c'est à-dire pour sécher la vapeur, consistent généralement à obliger cette vapeur à traverser un certain nombre de chicanes placées sur son trajet.

Le meilleur moyen paraît être celui qui amène le fluide au repos ; les meilleurs séparateurs d'eau et de vapeur seront ceux qui constitueront un épanouissement de la conduite, dans lequel le fluide prendra une vitesse relativement faible, favorable au dépôt de l'eau qu'il tient en suspension.

Les séparateurs sont souvent constitués par une capacité fermée, recevant la vapeur par une tuyauterie pénétrant jusqu'à sa partie inférieure, et la restituant par un tuyau partant de la partie supérieure.

Quelquefois on ajoute des chicanes à l'intérieur du séparateur ; leur rôle n'est pas de séparer l'eau de la vapeur sèche, mais de s'opposer aux entraînements de l'eau déjà déposée.

118. Sécheurs de vapeur. — On réserve généralement le nom de sécheur de vapeur à l'appareil dans lequel le séchage s'opère par addition de chaleur à la vapeur humide. C'est, en définitive, une vaporisation de l'eau contenue dans la vapeur, vaporisation pour laquelle on utilise, en général, les calories que contiennent encore les gaz qui se rendent à la cheminée.

Aux dimensions, et aussi, parfois, à la situation près, le sécheur n'est autre qu'un surchauffeur.

Sa constitution et son mode de construction sont les mêmes que pour ce dernier appareil.

Il existe un autre moyen de sécher la vapeur. C'est celui qui consiste à lui faire subir une détente sans travail extérieur. Ce moyen n'est que théorique, car on ne peut pas sécher une vapeur qui contient plus de 3 % d'eau en la détendant de 15 à 6 atmosphères.

119. Détendeur de vapeur. — Les chaudières multitubulaires à vaporisation rapide fournissent généralement de la vapeur à haute pression.

Cette vapeur est utilisée directement dans les machines à détentes étagées, qui sont particulièrement aptes à l'emploi des hautes pressions ; mais, lorsqu'on veut l'employer dans des machines à basse pression, il est nécessaire d'abaisser sa pression par la détente.

Cette opération se fait dans le *détendeur de vapeur*. Cet appareil est constitué par un ensemble de deux chambres séparées par un orifice de grandeur variable que ferme une soupape, commandée par un piston chargé de poids.

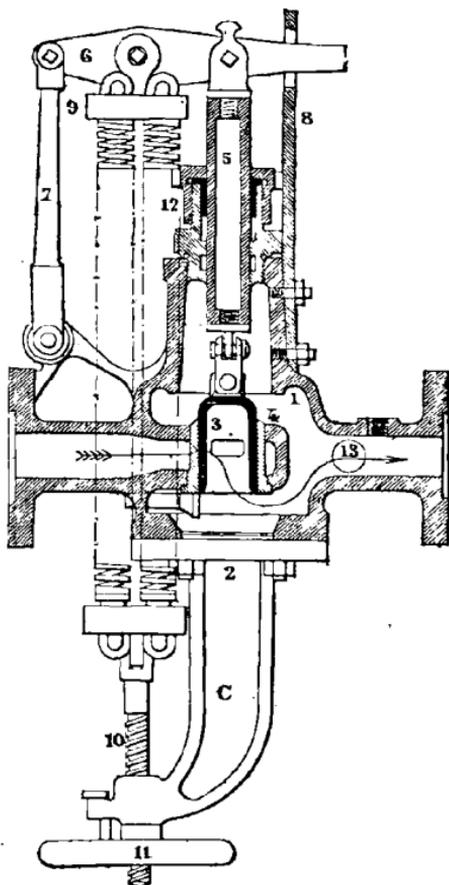


Fig. 96. — Détendeur Belleville.

L'une des chambres, de dimensions relativement faibles, est en communication avec la haute pression; la grande chambre communique avec la conduite de vapeur détendue :

Si P est l'effort vertical en kilogrammes pour lequel la soupape est équilibrée, et p la pression en kilogrammes par centimètre carré dans la grande chambre du détendeur, on a :

$$p = \frac{P}{S}$$

S étant la surface du piston en centimètres carrés.

Si p devient $p + \alpha$, à la suite d'une diminution de consommation de vapeur détendue, par exemple, le piston remonte, l'orifice d'admis-

sion se recouvre ; si p devient $p - \alpha$, le piston descend, l'orifice d'admission se découvre.

Dans les deux cas le piston se déplace jusqu'au moment où l'orifice est ouvert pour donner une pression remplaçant la soupape dans sa position d'équilibre. Cette position est celle pour laquelle la pression p existe dans la grande chambre du détenteur.

Cette opération a pour effet d'augmenter le titre de la vapeur par la légère surchauffe qu'elle produit.

Le détenteur Belleville est représenté figure 96.



CHAPITRE XXI

ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES

120. Alimentation à l'eau froide — à l'eau chaude — dans l'eau ou dans la vapeur. — L'alimentation des chaudières peut se faire à l'eau froide ou à l'eau chaude. Dans ce dernier cas, l'eau peut être à 30 ou 40° lorsqu'elle vient d'un condenseur ; elle atteint 90° lorsqu'elle utilise la chaleur provenant de la vapeur d'échappement des machines à échappement libre.

Lorsqu'on utilise pour la réchauffer de la vapeur vive ou la vapeur incomplètement détendue d'une machine à détentes multiples, elle peut atteindre 150°, et même davantage, suivant la pression de la vapeur employée.

Les mêmes températures peuvent être données à l'eau des réchauffeurs utilisant les calories que contiennent les gaz chauds sortant de la chaudière.

Les règles à suivre pour assurer une bonne alimentation aux chaudières sont différentes suivant que l'eau est froide ou chaude.

L'alimentation à l'eau chaude peut se faire presque indifféremment dans l'eau, c'est-à-dire que le tuyau d'alimentation aboutit en dessous du plan d'eau de la chaudière, ou dans la vapeur, tandis que l'alimentation à l'eau froide, que l'on aurait intérêt, au point de vue de l'épuration, à faire dans la vapeur, et loin des surfaces de chauffe, ne peut se faire de cette façon, à moins que l'on ne prenne des précautions spéciales dans l'établissement de la tuyauterie d'alimentation.

Il semble, en effet, résulter des expériences faites en

vue de déterminer l'origine des chocs qui se produisent quelquefois dans les conduites d'alimentation, lorsqu'on alimente à l'eau froide dans la vapeur, que ces chocs sont dus à la présence simultanée de l'eau froide et de la vapeur dans une partie sensiblement horizontale d'une tuyauterie d'alimentation débouchant dans la chaudière par une crépine.

L'eau froide, arrivant à l'extrémité d'un tuyau horizontal fermé par une crépine, y produit la condensation de la vapeur qui s'y trouve.

Un « piston d'eau » se forme; il se précipite, par suite de la dépression produite par cette condensation, à l'extrémité du tuyau.

Ces chocs qui se produisent ainsi à chaque coup de piston de la pompe alimentaire ont pour effet de détruire prématurément le tuyau et sa crépine.

Pour éviter ces inconvénients résultant de l'alimentation à l'eau froide ¹ faite dans la vapeur, on peut échauffer l'eau d'alimentation avant son arrivée à la crépine en faisant traverser l'eau de la chaudière par le tuyau d'alimentation et aussi en alimentant au moyen de l'injecteur, car cet appareil a sur la pompe à piston l'avantage de donner lieu à une arrivée d'eau régulière.

On pourrait aussi éviter ces chocs par une organisation convenable de la tuyauterie ². Néanmoins un certain nombre de constructeurs préfèrent alimenter dans l'eau.

Lorsqu'on alimente à l'eau froide, non épurée, il est essentiel de faire déboucher le tuyau d'alimentation loin

¹ Une circulaire du Ministre de la marine, du 7 juillet 1891, a rendu ce mode d'alimentation des chaudières réglementaire en France.

² RAYMOND et MORITZ. *Annales des mines*, 9^e série, tome XII, page 513.

des surfaces directes de chauffe, car il est à craindre que la précipitation des calcaires sur ces surfaces ait pour effet de les isoler de l'eau, et de donner lieu à un échauffement anormal de la tôle à cet endroit.

L'alimentation se fait ainsi dans les régions les plus froides de la chaudière ; les sels se précipitent dans les parties chaudes, assez loin des surfaces directes pour qu'il n'en résulte pas d'inconvénients ; la circulation les entraîne jusqu'à des débourbeurs d'où ils sont expulsés au dehors.

Lorsque la circulation est gênée, qu'elle ne se produit pas ou qu'elle se fait mal, il faut éviter les dépôts de tartre sur les tôles de coup de feu en alimentant de préférence dans une partie chaude, où l'épuration peut se faire ; cette région étant choisie assez éloignée des surfaces directes de chauffe pour que l'eau y arrive complètement débarrassée de ses sels.

Lorsqu'on alimente à l'eau froide, l'oxygène naissant, qui se dégage de l'eau à son entrée dans la chaudière, a pour effet de corroder la tôle près du débouché du tuyau d'alimentation dans le générateur : on remédie à cet inconvénient en faisant plonger le tuyau d'alimentation dans l'eau du générateur, et en le faisant déboucher à peu de distance du niveau normal. Dans certains types de chaudières à plusieurs bouilleurs, les bouilleurs supérieurs servent d'épurateurs pour les éléments inférieurs, seuls soumis à l'action directe du foyer ; l'alimentation se fait par la partie supérieure, c'est-à-dire dans une partie chaude éloignée du foyer.

121. Travail théorique à dépenser pour introduire l'eau d'alimentation. — Pour introduire 1 kilogramme d'eau dans une chaudière dont la pression est de 10 kilo-

grammes par centimètre carré, il faut dépenser un travail égal à :

$$1 \text{ kilogramme} \times 10 \times 10^3,33 = 103 \text{ kilogrammètres.}$$

D'autre part, 1 cheval-heure coûte, en général, 10 kilogrammes de vapeur et correspond à $75 \times 3600 = 270\,000$ kilogrammètres. Le travail correspondant à l'introduction de ces 10 kilogrammes d'eau est de 1030 kilogrammètres, et si on le compare aux 270 000 kilogrammètres que ces 10 kilogrammes d'eau transformés en vapeur par la chaudière sont susceptibles de fournir lorsqu'ils travaillent dans une machine à vapeur de rendement ordinaire, on trouve que le travail correspondant à l'introduction de l'eau est $\frac{1}{270}$ environ du travail total que cette eau est susceptible de fournir dans une machine à vapeur¹.

En réalité, le travail dépensé pour introduire l'eau d'alimentation dans la chaudière est beaucoup plus grand que le travail théorique ainsi évalué et cette différence tient au faible rendement des appareils alimentaires.

122. Appareils alimentaires. — L'alimentation peut se faire au moyen :

a) *des pompes alimentaires*, actionnées par une machine motrice voisine de la chaudière ;

b) D'un groupe moteur à vapeur comportant une pompe à piston appelé *petit cheval* ;

c) *des injecteurs*, basés sur l'action dynamique d'un courant de vapeur ;

d) *des bouteilles alimentaires*. — Ce sont des appareils automoteurs qui, par un jeu de soupapes mises en relation

¹ Voir E. JOLGUET, E. S. *Moteurs thermiques*, p. 181.

avec le niveau d'eau du générateur, permettent à l'eau d'alimentation d'y pénétrer en surmontant la pression intérieure.

Les pompes et les injecteurs sont à volonté à alimentation continue ou discontinue, c'est-à-dire qu'ils remplacent la vapeur qui disparaît de la chaudière au fur et à mesure de sa consommation ou seulement par intermittences. Ce sont ces appareils qui sont employés actuellement dans presque tous les cas, les bouteilles alimentaires n'étant presque plus employées.

Les chauffeurs ont à leur disposition deux genres d'appareils d'alimentation, généralement une pompe et un injecteur.

L'emploi de ces deux appareils a pour but de diminuer les risques d'accidents dus à un défaut d'alimentation, mais ils n'ont pas la même sûreté de fonctionnement dans tous les cas : les pompes fonctionnent aussi bien avec l'eau chaude qu'avec l'eau froide, tandis que les injecteurs, sauf certains types, ne fonctionnent bien qu'à l'eau froide ou lorsqu'ils reçoivent l'eau en charge.

123. Pompe alimentaire. Petit cheval alimentaire.

— Les pompes alimentaires des chaudières sont aspirantes et foulantes, et à piston plongeur.

Elles sont généralement actionnées par les moteurs qui utilisent la vapeur des chaudières qu'elles alimentent ; c'est le cas des locomobiles et des machines semi fixes.

Elles sont aussi commandées, quelquefois, par des moteurs indépendants, des moteurs électriques, par exemple.

Le réglage de l'alimentation se fait dans ce cas par l'ouverture d'un robinet placé sur le refoulement de la pompe. Celle-ci refoule toujours la même quantité d'eau, une partie seulement est envoyée par le jeu d'un clapet auto-

matique dans la chaudière, le reste revient à l'aspiration de la pompe.

Lorsque le piston de la pompe et celui de son moteur à vapeur de commande sont calés aux extrémités d'une même tige, l'ensemble pompe-moteur à vapeur ainsi constitué porte le nom de petit cheval alimentaire.

Le petit cheval est l'appareil alimentaire le plus généralement employé dans les installations fixes et à bord des bateaux et des locomotives.

Cette machine fonctionne, en général, sans détente; elle consomme donc une quantité de vapeur relativement grande, 3 à 4 % de la vapeur de la chaudière qu'elle alimente. Pour réduire cette dépense on récupère quelquefois les calories que contient sa vapeur d'échappement en utilisant cette vapeur au réchauffage de l'eau d'alimentation.

L'allure du petit cheval se règle automatiquement, par la dépression qui se fait dans la conduite de refoulement lorsque l'eau de cette conduite pénètre dans la chaudière. Dans certains types de chaudières, les chaudières Belleville notamment, le réglage de l'alimentation est fait par le *régulateur automatique d'alimentation*.

Ce régulateur se compose d'un flotteur commandant les mouvements d'un clapet placé sur le circuit d'alimentation.

Ce clapet est appelé *clapet automoteur* parce qu'il s'ouvre et se ferme de lui-même tant que le niveau dans la chaudière n'est pas au niveau normal.

124. **Petit cheval alimentaire Belleville** (fig. 97).
 — Il se compose de deux parties principales :
 une machine à vapeur à double effet, à tiroir ;
 une pompe aspirante et foulante.
 Les pistons de la machine à vapeur et de la pompe sont

calés sur la même tige. Les cylindres sont horizontaux et sont dans le prolongement l'un de l'autre.

Le tiroir est mû par un levier terminé par une fourche de distribution oscillant autour d'un axe horizontal per-

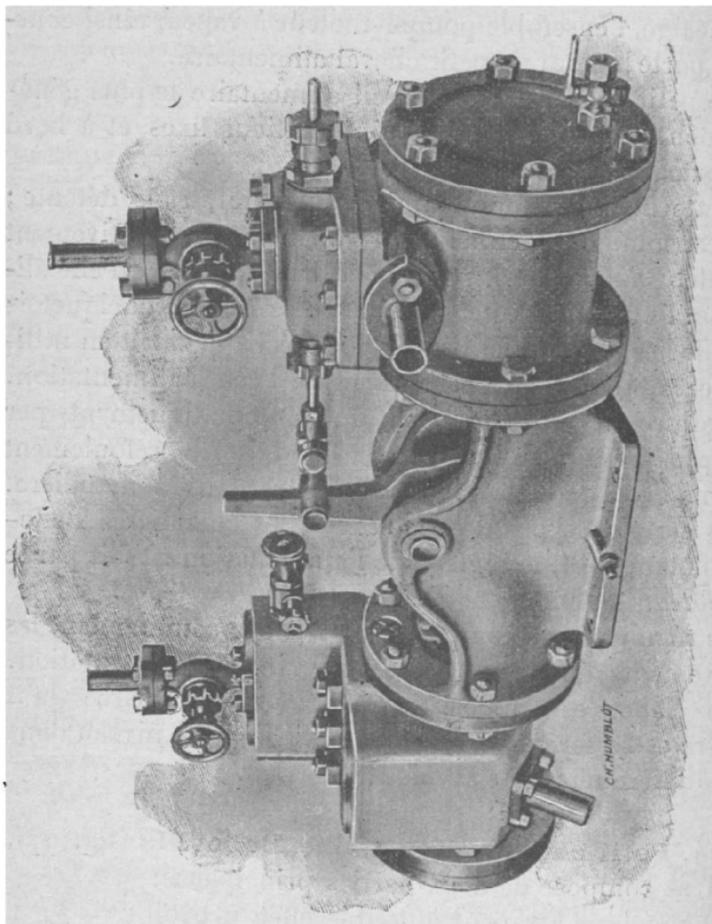


Fig. 97. — Petit cheval Belleville.

pendiculaire à l'axe commun des deux machines, et placé à égale distance des cylindres.

Ce tiroir ne possède pas de recouvrements, la vapeur agit toujours à pleine pression.

La fourche de distribution est commandée par un butoir calé sur l'axe commun des deux pistons.

L'eau du tuyau de refoulement de la pompe commandée par le « clapet automoteur » commande le mouvement du piston de la pompe.

Ce piston s'arrête lorsque le clapet automoteur ferme la conduite de refoulement.

Les clapets de refoulement et d'aspiration de la pompe sont solidaires l'un de l'autre ; lorsque le clapet de refoulement vient à se fermer, le clapet d'aspiration se ferme également : le cylindre est plein d'eau, le piston de la pompe, bien que poussé par la vapeur qui agit dans le cylindre à vapeur, reste immobile tant que la conduite de refoulement est fermée.

Si le clapet automoteur s'ouvre, le piston de la pompe se meut de manière à refouler de l'eau dans cette conduite ; il est poussé par la vapeur qui agit sur le piston à vapeur.

Le petit cheval obéit donc à la demande de la chaudière : son allure dépend, en effet, de l'ouverture du tuyau de refoulement, c'est-à-dire du niveau de l'eau dans le générateur.

Le piston de la pompe commande par son taquet la fourche de distribution et, par suite, le mouvement du tiroir. Cette disposition permet de passer les points morts.

En effet, lorsque le piston à vapeur arrive à la fin de sa course, le piston à eau vient buter contre un levier clapet qui met en communication les deux côtés du piston à eau, celui-ci n'offre plus de résistance, en même temps le clapet d'aspiration se ferme et comme les deux pistons sont solidaires, le piston à vapeur achève brusquement sa course.

Le butoir vient frapper la fourche et met le tiroir à la position d'admission correspondant à la course suivante. Le petit cheval a franchi son point mort de fin de course.

Mis en marche, il ne s'arrête que sous l'action du clapet automoteur.

Si l'eau vient à manquer à l'aspiration, c'est-à-dire s'il se produit un désamorçage, le cheval augmente sa vitesse. Il ne peut pas s'emporter parce que, à mesure que la vitesse augmente, la course du tiroir augmente et, lorsque cette dernière atteint une certaine limite, la vapeur est admise sur les deux faces du piston à vapeur, grâce à un dispositif spécial ; le cheval s'arrête.

Tous les petits chevaux alimentaires sont organisés, comme le cheval Belleville, de manière à faire passer les points morts et ne point s'emballer.

125. Pompe Worthington. — La pompe Worthington est à deux cylindres à vapeur, chacun des deux tiroirs est conduit par la tige de l'autre piston au moyen de renvois de mouvement.

Cette disposition assure, sans volant, une grande continuité au débit de l'eau refoulée.

Pour réduire la dépense de vapeur, les cylindres à vapeur sont compound, ils sont attelés en tandem.

Au début, les cylindres travaillent chacun à pleine admission, l'un à la pression de la chaudière, l'autre à celle du réservoir intermédiaire ; mais il vaut mieux détendre dans chaque cylindre. La dépense de vapeur peut ainsi être réduite, mais l'effort moteur est variable, car la pression aux divers points de la course d'un piston suit la loi de détente de la vapeur qui le pousse, tandis que l'effort résistant est constant. On ne peut y remédier en ajoutant

un volant à la machine, comme on le ferait si elle était animée d'une certaine vitesse ; dans le cas actuel, il est indispensable d'avoir recours à d'autres moyens : on emmagasine l'excès de travail moteur pendant la première moitié de la course, et on le restitue pendant la deuxième moitié, grâce à l'emploi de deux petits pistons, se mouvant dans deux cylindres oscillants à simple effet, et soumis à une pression d'eau convenable.

126. Pompe Audemar-Guyon. Pompe Thirion. — *La pompe Audemar-Guyon* est à 4 pistons, les seuls clapets de la pompe sont ceux que possèdent les pistons.

La pompe Thirion est à un, deux ou trois cylindres. Le moteur est compound avec deux cylindres à vapeur disposés en face des cylindres à eau. Les pistons à vapeur et à eau sont calés sur la même tige.

127. Pompe à action directe avec distribution par déclenchement automatique (système Weyher et Richemond). — Dans ce genre de pompe alimentaire, le renversement de marche du distributeur est produit par le déclenchement d'un ressort bandé pendant la course de compression du piston. La marche automatique du distributeur, et par suite aussi celle du piston, est réglée par le déclenchement automatique de verrous.

Le passage des points morts est ainsi obtenu par un mouvement mécanique et il n'occasionne pas de dépense de vapeur. Le distributeur est constitué par un tiroir équilibré n'exigeant pour son déplacement qu'un effort relativement faible.

Enfin, l'emploi d'une garniture métallique extensible, assurant l'étanchéité parfaite du piston de la pompe, permet d'obtenir une aspiration de 5 à 6 mètres sans dépense exagérée.

INJECTEURS

128. **Généralités sur les injecteurs.** — Les injecteurs sont basés sur le principe de l'entraînement des fluides : la vapeur sort par une tuyère dans un ajutage, elle prend dans cet ajutage, qui débouche dans une chambre communiquant avec le réservoir à eau, une certaine vitesse. L'air est entraîné; une certaine dépression se produit dans la chambre, l'eau est aspirée puis entraînée à son tour par le jet de vapeur dans un ajutage qui a pour but de transformer l'énergie cinétique du jet en énergie potentielle. On exprime quelquefois ce fait en disant que la vitesse est transformée en pression.

Pour qu'il y ait injection il faut que cette pression soit supérieure à celle qui règne dans la chaudière.

L'idée d'employer plusieurs fois de suite les mêmes moyens dans le but d'augmenter l'effet utile de l'appareil amène à la conception des *injecteurs multiples*. L'emploi de ces injecteurs s'impose, ainsi qu'on le verra par la suite, lorsqu'on alimente à l'eau chaude.

129. **Injecteur Giffard.** — Il comprend trois ajutages : deux convergents et un divergent. L'ajutage convergent E est en communication avec la chaudière; il peut être fermé par une aiguille commandée par une manivelle de manœuvre, il peut se déplacer, pour le réglage, par rapport à l'ajutage convergent G lequel communique par un tuyau d'aspiration avec le réservoir à eau (fig. 98 et 99).

L'ajutage G débouche en face de l'ajutage divergent H. Les tuyères G et H sont placées à une très faible distance l'une de l'autre dans une chambre communiquant avec

l'atmosphère. De cette chambre part un tuyau de trop-plein par lequel s'écoule la vapeur puis l'eau au moment de l'amorçage de l'injecteur.

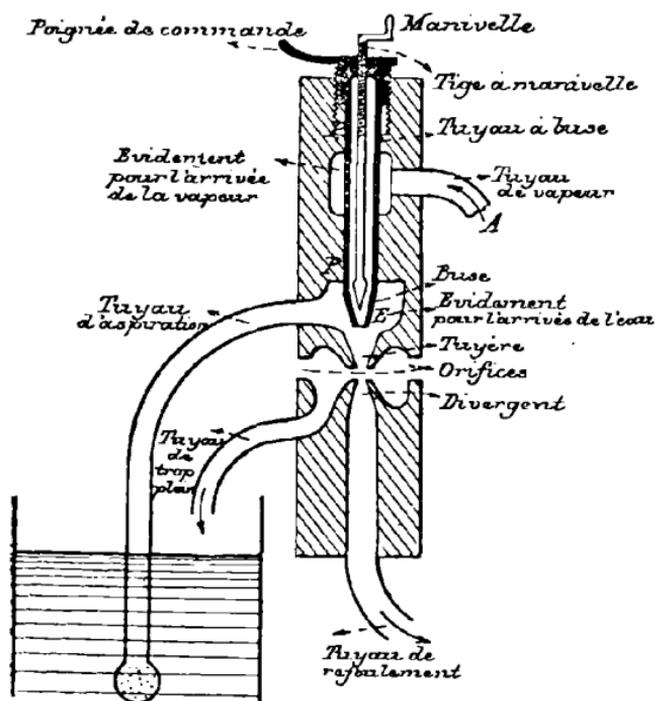


Fig. 98. — Injecteur Giffard.

L'ajutage divergent se termine par le tuyau de refoulement à la chaudière.

Pour mettre l'appareil en marche, on ouvre légèrement l'arrivée de la vapeur en agissant sur la manivelle de manœuvre; l'air est entraîné, l'aspiration de l'eau se produit. La vapeur se condense au contact de l'eau, le jet de vapeur

entraîne la masse totale d'eau et de vapeur condensée dans le second ajutage convergent.

L'injecteur est amorcé, et un jet liquide sort par le trop-plein. En ouvrant davantage l'arrivée de vapeur, la vitesse d'écoulement augmente, et il arrive un moment où la masse fluide lancée par l'ajutage divergent pénètre dans la chaudière en soulevant le clapet de retenue.

L'effet de la conicité divergente de la tuyère de sortie de l'injecteur est d'éteindre progressivement la vitesse du courant fluide. Comme aucune énergie ne se perd dans l'appareil, l'énergie cinétique du fluide se transforme en énergie potentielle et, à sa sortie du divergent, il possède une certaine pression.

Cette pression est d'autant plus grande que la vitesse du fluide à son entrée est elle-même plus grande, ainsi qu'il résulte de l'application du théorème de Bernouilli au filet fluide entre l'entrée et la sortie du divergent.

$$\frac{P_1}{\pi} = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2g} + \frac{P_0}{\pi}.$$

P_0 et P_1 étant les pressions en kilogrammes par mètre carré dans les sections d'entrée et de sortie du divergent, $P_0 = 1$ puisque l'ouverture du divergent communique avec l'atmosphère.

v_0 et v_1 les vitesses en mètres par seconde dans les mêmes sections. v_1 est négligeable par rapport à v_0 .

π le poids du mètre cube de fluide — on admet que ce fluide est à l'état liquide — $\pi = 1000$ kilogrammes.

La relation ci-dessus devient $\frac{P_1}{\pi} = \frac{v_0^2}{2g}$ approximativement.

La vitesse v_0 à l'entrée du divergent, qui est toujours

inférieure à celle que prendrait la vapeur si elle s'échappait dans l'atmosphère, croît, pour un même débit Q d'eau, avec le poids q de vapeur dépensé par seconde.

En appliquant le théorème des quantités de mouvement projetées au mélange, on a, en effet, en appelant u la vitesse de l'eau aspirée, V celle de la vapeur injectée :

$$(Q + q)v_0 = Qu + qV$$

u est négligeable devant V , il vient :

$$v_0 = \frac{1}{1 + \frac{Q}{q}} V.$$

(on admet qu'il n'y a pas de remous dans l'appareil et que la vitesse du mélange est égale à v_0 , vitesse à l'entrée du divergent).

Cette relation montre, en outre, que v_0 diminue lorsque Q augmente, c'est-à-dire que, pour un même poids de vapeur dépensée, la vitesse diminue lorsque le poids d'eau aspiré augmente.

Pour obtenir une vitesse suffisante il faut augmenter le poids q de vapeur injectée ; mais, d'autre part, la tempé-

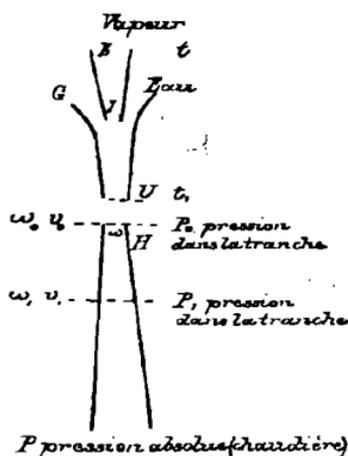


Fig. 99. — Injecteur alimentaire.

érature du mélange augmente avec le poids de vapeur injectée et, si cette température atteint 80 à 90°, il peut se produire un dégagement de vapeur dans la chambre de l'injecteur, une réduction de la dépression dans cette chambre et, par suite, un désamorçage de l'appareil.

Ceci explique la manœuvre usitée pour amorcer et faire fonctionner l'injecteur, manœuvre qui consiste à envoyer un mince jet pour l'amorçage, et à le renforcer pour refouler l'eau à la chaudière.

Les désamorçages résultant de l'évaporation de l'eau aspirée dans la chambre de l'injecteur amènent à conclure que cet appareil aspire difficilement l'eau chaude. La pratique a démontré du reste que les injecteurs fonctionnent d'autant mieux que l'eau est plus froide.

Cette propriété peut se démontrer directement :

En écrivant que les quantités de chaleur cédées par la vapeur à l'eau se retrouvent dans le mélange on a :

$$Q(t_1 - t) = q(\lambda - t_1)$$

t_1 étant la température du mélange ;

t celle de l'eau, λ la chaleur totale de vaporisation = 650 calories environ, d'où l'on tire :

$$Q = q \frac{650 - t_1}{t_1 - t}$$

t_1 est inférieure à 100° puisque, par hypothèse, le fluide qui se trouve à l'entrée du cône divergent est liquide ; on a donc :

$$Q > q \frac{550}{100 - t}$$

Cette inégalité est d'autant plus difficile à satisfaire que t est plus grand. C'est-à-dire que l'eau est plus chaude.

La pratique a montré que l'injecteur peut être employé à partir d'une pression effective de $\frac{1}{5}$ d'atmosphère, et à toutes les pressions usitées, mais que, pour assurer un bon fonctionnement à l'appareil, il est nécessaire d'employer de l'eau froide.

De plus, le volume d'eau introduit à l'aide d'une quantité de vapeur diminue à mesure que la pression dans la chaudière augmente. Ce dernier résultat pouvait d'ailleurs se prévoir. En effet, pour vaincre une pression plus forte dans la chaudière, il faut augmenter la vitesse v_0 ; mais, pour des pressions élevées, la vitesse V de la vapeur variant très peu, on ne peut agir sur v_0 qu'en augmentant q , c'est-à-dire en injectant une plus grande quantité de vapeur, ce qui élève la température t_1 , et cette élévation de température a pour effet de diminuer le poids d'eau injecté ¹.

On reproche quelquefois aux injecteurs de ne pas être économiques en ce sens qu'employés comme appareils alimentaires, ils fournissent une quantité d'eau relativement faible pour la vapeur qu'ils consomment.

Il est certain, en effet, que si l'on compare l'effet utile d'un injecteur à celui d'une pompe, on trouve que l'injecteur consomme, par la vapeur qui l'alimente, beaucoup plus de chaleur qu'il n'en faudrait pour produire le même travail au moyen d'une pompe à vapeur ; mais, il faut remarquer que l'injecteur chauffe l'eau d'alimentation et que l'on récupère ainsi les calories dépensées dans l'appareil, récupération qui ne se fait pas dans une pompe.

Aussi l'injecteur employé comme pompe (dans ce cas, il est appelé *éjecteur*), a-t-il un mauvais rendement.

Pour l'alimentation d'une chaudière, comme il est avantageux d'employer de l'eau chaude, l'injecteur conviendrait très bien pour cet usage. Il est même économique car il constitue un appareil alimentaire possédant peu de frottements ².

¹ SER. *Traité de physique industrielle*, tome II, p. 179, 1892.

² A la condition que les ajustages soient très propres.

130. **Injecteurs multiples.** — Lorsqu'il est nécessaire d'alimenter à l'eau chaude, on ne peut obtenir la vitesse et par suite la pression d'injection avec un seul in-

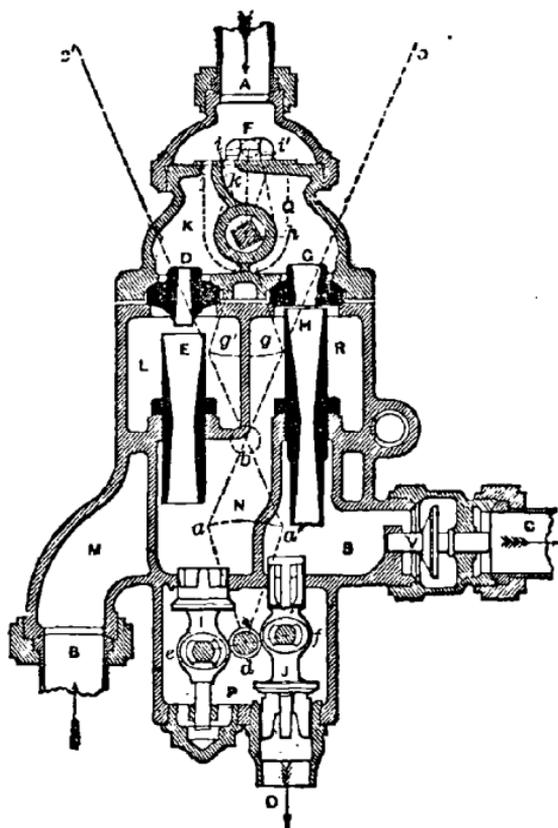


Fig. 100. — Injecteur double Hancock, d'après G. Richard.

jecteur. On emploie alors les injecteurs multiples composés de plusieurs injecteurs simples ajoutant leurs effets.

Les appareils Turck, Friedmann, Hancock (fig. 100), Sellers, Koerting, etc., sont dans ce cas.

L'injecteur Koerting comprend deux injecteurs, juxtaposés dans un même corps, et communiquant par la chambre d'arrivée de vapeur.

Le premier appelé éjecteur aspire l'eau d'alimentation et l'envoie dans le second qui lui-même la refoule dans la chaudière.

Ces appareils utilisent la vapeur vive de la chaudière et ils peuvent alimenter avec de l'eau chaude sans toutefois que celle-ci dépasse la température de 70°.

Certains injecteurs sont construits pour utiliser la vapeur d'échappement. Les appareils Hamer, Manlove Metcalfe etc., sont dans ce cas.

Ils sont très économiques parce qu'ils n'occasionnent pas de dépense de vapeur vive, mais ils ont l'inconvénient d'exiger une eau d'alimentation froide, et de ne fonctionner d'une façon convenable que lorsqu'ils alimentent des chaudières à basse pression, 4 à 5 kilogrammes par centimètre carré. Pour les pressions plus élevées, on les complète par l'addition d'une tuyère supplémentaire recevant la vapeur vive de la chaudière.

Cependant les injecteurs ont parfois un fonctionnement capricieux dû à ce que des matières graisseuses salissent les parois des ajutages et donnent lieu à des désamorçages ; ils sont plus économiques que les pompes, mais ils sont, par contre, d'un fonctionnement beaucoup moins sûr.

Aussi, bon nombre d'installations possèdent-elles les deux genres d'appareils, des injecteurs pour l'alimentation en service normal et des pompes comme secours.

131. **Bouteilles alimentaires** (fig. 101). — Ces appareils ne sont plus guère employés maintenant pour l'alimentation des générateurs industriels.

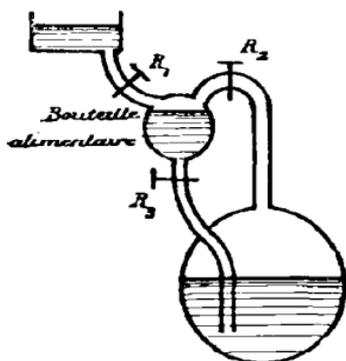


Fig. 101. — Bouteille alimentaire.

bras de levier commandent les robinets.

Ils fonctionnent de la manière suivante :

1^{re} phase. — R_2, R_3 fermés, R_1 ouvert, la bouteille se remplit d'eau.

2^o phase. — R_1 fermé, R_2, R_3 ouverts, l'eau va dans la chaudière.

Le fonctionnement peut être facilement rendu automatique à l'aide de flotteurs et de contrepoids dont les

132. **Comparaison entre les divers genres d'appareils alimentaires.** — De tous les genres d'injecteurs qui ont été imaginés jusqu'ici les injecteurs à eau chaude sont ceux qui sont le plus répandus. Ils consomment pour leur fonctionnement une assez grande quantité de vapeur, mais les calories qu'elle contient ne sont pas perdues entièrement, car cette chaleur rentre dans la chaudière.

Il n'en est pas de même pour les pompes alimentaires même pour celles qui ne travaillent pas à pleine admission pendant toute la course du piston. Il semble par suite que l'on doive toujours préférer les injecteurs aux pompes lorsqu'on vise à l'économie de vapeur¹.

¹ Quelquefois on récupère les calories de la vapeur d'échappement des petits chevaux dans des réchauffeurs d'eau d'alimentation.

Son seul inconvénient sérieux est de ne pouvoir fonctionner lorsque l'eau est trop chaude. L'injecteur Giffard a, en outre, celui de laisser rentrer l'air par son orifice de trop plein. Cet air s'introduit dans la chaudière, l'oxygène se dégage et corrode les tôles; puis, il s'introduit dans les machines et de là, dans leur condenseur, dont il fait tomber le vide.

On a remédié à ce dernier inconvénient, dans les appareils destinés à des chaudières de machines à condensation en plaçant sur l'orifice de trop plein une soupape qui est bloquée sur son siège lorsque l'amorçage est obtenu.

CHAPITRE XXII

ESSAIS DES CHAUDIÈRES

133. Considérations sur le choix des chaudières.

— Tous les types de chaudières ont des qualités qui leur sont propres ; il n'est pas indifférent, par suite, de choisir l'une ou l'autre pour une application déterminée.

Les chaudières à tubes de fumée, semi tubulaires, sont faciles à conduire et à entretenir en bon état de fonctionnement. Elles possèdent un volume d'eau qui leur permet de conserver une pression constante, et un niveau presque invariable, lorsqu'elles sont appelées à fournir momentanément une quantité de vapeur très supérieure à celle qui correspond à leur régime normal.

Ce genre de chaudière est à préférer à la chaudière multitubulaire à tubes d'eau, généralement à volume d'eau relativement faible, dans les applications ou les régimes de production de vapeur sont irréguliers, ou lorsque la puissance de vaporisation spécifique et la rapidité de mise en pression n'ont pas une importance considérable, ou enfin, lorsque l'habileté du personnel affecté à leur conduite n'est pas suffisante pour qu'on puisse lui confier l'entretien et la conduite de chaudières telles que certaines chaudières multitubulaires à tubes d'eau.

La chaudière semi-tubulaire à tubes de fumée est donc la chaudière qui convient pour les installations fixes ordinaires.

L'emploi des chaudières à grande puissance de va-

porisation s'impose dans les applications où une grande rapidité de mise en pression est nécessaire, et où le poids de matériel à transporter pour produire une puissance motrice déterminée doit être aussi réduit que possible.

Ces chaudières imposent des charges d'entretien plus lourdes et exigent un personnel plus habile que les chaudières semi tubulaires à tubes de fumée. Elles sont aussi plus chères que ces dernières pour une même quantité de vapeur produite à l'heure.

134. **Généralités sur les essais.** — Le but d'un essai de chaudière est de vérifier si la puissance de vaporisation définie au contrat d'achat est obtenue dans les conditions de tirage et d'activité de combustion également spécifiées.

L'essai conduit, nécessairement, à vérifier si la vapeur est sèche et, par suite, à déterminer le degré de siccité de cette vapeur.

Si la chaudière est isolée, ou s'il s'agit d'un groupe de chaudières desservies par une même cheminée, le coefficient de vaporisation pour un combustible défini, présente de l'intérêt et est quelquefois spécifié au contrat d'achat.

Il en est de même de la fumivoricité; si elle n'est pas imposée d'une façon formelle, elle est implicitement comprise dans les contrats relatifs aux chaudières isolées, ou aux groupes desservis par une même cheminée, car un constructeur de chaudière doit nécessairement, en faisant le projet de cet appareil, se préoccuper des conditions de tirage auxquelles ce générateur sera soumis.

Lorsque la chaudière comprend un surchauffeur, la régularité de la surchauffe, c'est-à-dire l'invariabilité de la température, est une condition importante à réaliser. Il en est de même pour la régularité du réchauffage de l'eau

d'alimentation lorsque la chaudière comprend un économiseur.

Ces vérifications conduisent à déterminer certains éléments tels que la température et la composition des gaz de la cheminée, qui ont une importance au point de vue de la bonne marche de la combustion, et par suite de l'économie à laquelle elle peut donner lieu.

Toutes ces opérations se font au cours de l'essai de vaporisation proprement dit. Elles ont fait l'objet d'une étude spéciale page 83 en ce qui concerné l'évaluation de la température du foyer, l'analyse des gaz de la cheminée et la détermination du degré de fumivorite obtenu.

La mesure des températures se fait au moyen de thermomètres ou de pyromètres dont l'emploi, ainsi qu'on l'a dit ci-dessus page 78, ne donne lieu à aucune difficulté.

Il reste donc à examiner dans quelles conditions s'exécute l'essai de vaporisation, et comment se détermine l'eau entraînée par la vapeur ou eau de primage d'une chaudière.

135. Essai de vaporisation. — L'essai consiste à déterminer le poids d'eau, ramené à 0°, vaporisé par la chaudière et le poids de charbon brûlé sur la grille dans le même temps.

Pour déterminer le poids d'eau vaporisé, on fait usage de récipients jaugés dans lesquels les appareils alimentaires puisent l'eau pour l'envoyer à la chaudière; ou bien, on fait usage de compteurs étalonnés.

La mesure de la température moyenne de l'eau permet de passer de la détermination du volume à celle du poids introduit.

Le poids de charbon brûlé s'obtient par pesées directes.

Cette manière d'opérer tient compte du charbon d'allumage, et il est nécessaire, pour obtenir avec exactitude le poids d'eau vaporisé, de ramener le niveau au niveau initial, en tenant compte de la différence de température au commencement et à la fin de l'essai.

Il est préférable de ne faire les déterminations qu'après avoir établi le régime permanent, et d'interrompre les mesures lorsque le niveau de l'eau dans la chaudière, et le poids du charbon placé sur la grille, sont les mêmes qu'au commencement de l'essai.

DÉTERMINATION DE L'EAU DE PRIMAGE

La détermination de la proportion d'eau entraînée par la vapeur peut se faire par plusieurs méthodes :

La méthode calorimétrique

- id. chimique
- id. Gehre
- id. Barrus
- id. Rateau
- id. densimétrique.
- id. calorimétrique modifiée.

136. **Méthode calorimétrique.** — Elle consiste à condenser un poids p de vapeur dans un poids donné Q d'eau, prise à une température comme t , et à mesurer la température t' que prend cette eau à la fin de la condensation.

L'équation calorimétrique de l'opération basée sur ce que un kilogramme de vapeur saturée sèche abandonne en se condensant $606,5 - 0,695T$ calories, T étant la

température correspondant à la pression de la vapeur, tandis que le même poids d'eau entraînée n'abandonne que $T - t'$ calories, donne le poids cherché.

Le calorimètre est constitué par une cuve en bois, contenant le poids Q d'eau à t° centigrades, placé sur le plateau d'une bascule. Le tuyau de vapeur, ainsi que le thermomètre, pénètrent par le couvercle du calorimètre. Ce tuyau ayant été préalablement purgé, on plonge son extrémité dans l'eau, et on ouvre le robinet de vapeur.

La condensation est arrêtée lorsque le poids du calorimètre est Q' tel que $p = Q' - Q$ soit égal à $\frac{Q}{10}$ environ.

Soient x le poids de vapeur saturée sèche contenu dans le poids p de vapeur condensée, y le poids d'eau entraînée par cette même vapeur. On a

$$p = Q' - Q = x + y$$

La chaleur perdue par la vapeur comprend
1° celle qui correspond à la condensation :

$$(606,5 - 0,695 T) x$$

2° celle qui correspond au refroidissement du poids x d'eau de T à t' : $x(T - t')$

3° celle qui correspond au refroidissement du poids y d'eau entraînée de T à t' : $y(T - t')$.

La chaleur reçue par le calorimètre est :

$$Q(t' - t) + (Q' - Q)t'$$

on a donc l'équation calorimétrique :

$$x(606,5 - 0,695T) = Q't' - Qt - p(T - t')$$

d'où on tire x .

L'inconnue y cherchée se déduit de $p = x + y$. La proportion d'eau de primage contenue dans la vapeur expérimentée est, en pour cent, $\frac{y}{p}$. Le titre de la vapeur est $\frac{x}{p}$.

On pouvait aussi employer un calorimètre à glace.

Soit g le poids de glace contenu dans le calorimètre au commencement de l'expérience, et supposons que celle-ci soit arrêtée au moment où il reste un poids g'' .

Le poids de glace disparue est $g' = g - g''$.

Comme la température reste égale à 0° pendant toute l'expérience, la chaleur reçue par le calorimètre est $79,1g'$, $79,1$ étant la chaleur de fusion de la glace.

D'autre part, si $x + y = p$ est l'augmentation de poids du calorimètre, la chaleur fournie par la vapeur à cet appareil est équivalente à celle qu'il aurait fallu dépenser pour élever le poids x d'eau de 0° à T° et le vaporiser à cette température, soit $x(606,5 + 0,305T)$, et le poids y d'eau entraînée de 0° à T° , c'est-à-dire yT .

On a donc :

$$x(606,5 + 0,305T) + yT = 79,1g$$

et :

$$x + y = p$$

x et y sont tirés de ces deux équations.

137. Méthode chimique. — Elle peut s'appliquer à toute l'eau de la chaudière, ou à un échantillon prélevé dans la conduite de vapeur. On dissout une quantité connue de sel marin ou de sulfate de sonde dans la chaudière.

S'il n'y a pas d'entraînement d'eau, c'est-à-dire si la vapeur est sèche, la teneur de l'eau en sel doit rester constante, car la vapeur sèche n'entraîne pas le sulfate de soude. On admet que le niveau reste invariable dans la chaudière.

Si la vapeur entraîne de l'humidité, cette eau enlève du sel à l'eau de la chaudière, et la proportion de sel qu'elle contient diminue progressivement. On peut donc, par des dosages du sel contenu dans l'eau de la chaudière et dans l'eau condensée après avoir travaillé dans la machine, ou recueillie dans les purgeurs des conduites, déterminer la quantité d'eau entraînée par la vapeur. Le mode opératoire consiste à prélever au même instant, deux échantillons d'eau, de même poids, dans la chaudière et dans la conduite (au moyen d'un serpentín greffé sur elle) et on dose la quantité de sel contenue dans chaque échantillon.

Le rapport des poids ainsi obtenus donne la proportion d'eau entraînée.

Il ne faut pas perdre de vue qu'il est toujours dangereux d'introduire des chlorures dans les chaudières et en outre que le sel ajouté à l'eau disparaît en partie pour précipiter les calcaires contenus dans l'eau.

On applique aussi quelquefois un procédé analogue basé sur l'emploi de l'éosine.

L'éosine est entraînée par l'eau et ne l'est pas par la vapeur sèche. La coloration du liquide provenant de la condensation d'un échantillon de vapeur donne le dosage.

On reproche à ce procédé de donner un titre supérieur au titre réel parce qu'une partie de l'eau entraînée par la vapeur n'est pas recueillie par le serpentín. Son application est, en outre, assez délicate dans la pratique.

138. **Méthode et appareil Gehre.** — L'appareil est constitué par une conduite branchée en dérivation sur la conduite principale de vapeur (fig. 102).

Un système de robinets ou d'obturateurs permet d'isoler subitement l'échantillon de vapeur qui se trouve dans l'appareil au moment où l'on veut faire la détermination du titre. Un manomètre et un thermomètre permettent de suivre les transformations du fluide ainsi isolé.

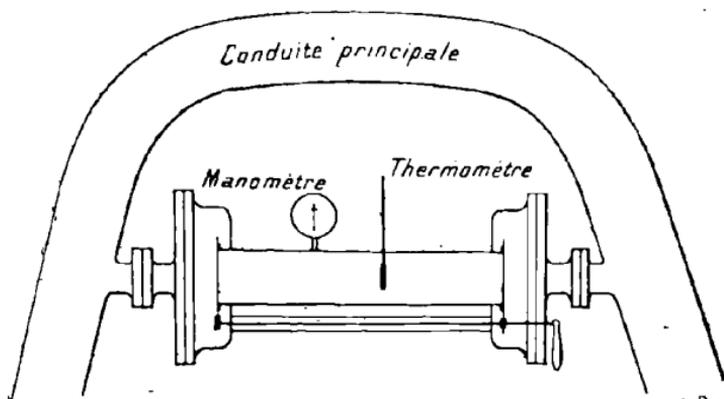


Fig. 102. — Appareil Gehre.

Soient p_0 et t_0 la pression et la température marquées lorsqu'on isole l'échantillon (ces indications concordent avec celles des tables de Regnault).

On chauffe le tube et on observe simultanément le manomètre et le thermomètre. *S'il n'y a pas d'eau dans la vapeur*, la pression varie peu, le thermomètre indique immédiatement des températures croissantes. La vapeur se surchauffe, et le thermomètre indique des températures supérieures à celles qui correspondent, d'après les tables de Regnault, aux pressions lues sur le manomètre.

S'il y a de l'eau dans la vapeur, la pression augmente avec la température tant qu'il reste de l'eau dans la vapeur; elle atteint une pression p_1 , stationnaire, correspondant au commencement de la surchauffe.

Jusqu'à cette pression les températures lues sur le thermomètre correspondent (tables de Regnault) aux pressions indiquées par le manomètre.

Si on continue à chauffer l'échantillon de vapeur, les températures croissent beaucoup plus vite que les pressions; la vapeur se surchauffe.

La méthode consiste donc à lire simultanément le manomètre et le thermomètre, lorsqu'on chauffe l'échantillon, et à déduire de ces lectures la pression p_1 à partir de laquelle les indications du thermomètre sont supérieures à celles qui correspondent aux pressions marquées par le manomètre.

Connaissant p_1 et la pression d'admission p qui règne dans la conduite on peut déterminer le titre x de l'échantillon.

Soient u_0' et u_1' les volumes spécifiques correspondant aux pressions p_0 et p_1 (ces volumes sont donnés par les tables). Soit, en outre, u le volume spécifique correspondant à p , on a, puisque le volume occupé par le fluide ne change pas

$$u + x(u_0' - u) = u_1' \quad x = \frac{u_1' - u}{u_0' - u}$$

$$x = \frac{u_1'}{u_0'} \quad \text{ou} \quad x = \frac{\delta_0}{\delta_1} \quad (\text{approximativement})$$

δ_0 et δ_1 étant les poids spécifiques de la vapeur aux pressions p_0 et p_1 .

Cette méthode est simple en théorie; mais, en pratique, elle a l'inconvénient d'exiger des mesures très précises des pressions du fluide, mesures qui sont difficiles à faire

avec les manomètres ordinaires. De plus, elle utilise un appareil qui n'est pas parfaitement étanche et qui introduit, par suite, des causes d'erreurs.

139. **Méthode et appareil Barrus.** — Cette méthode est basée sur la variation du degré de surchauffe qui se produit lorsqu'une vapeur humide s'écoule par un orifice étroit.

L'appareil (fig. 103) comprend une prise de vapeur greffée sur la conduite générale et aboutissant à un séparateur recueillant l'eau entraînée mécaniquement. De ce séparateur part un tube formé de deux chambres A et B séparées par un diaphragme ; celui-ci est percé d'un orifice étroit.

L'appareil est entouré de calorifuge.

Des thermomètres T_1 et T' donnent les températures de la vapeur avant et après son passage à travers l'orifice, c'est-à-dire avant et après la surchauffe à laquelle ce passage donne lieu.

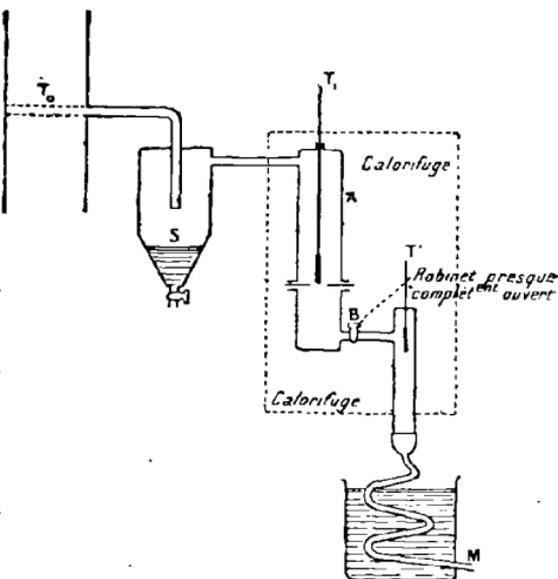


Fig. 103. — Appareil Barrus.

La vapeur ayant traversé l'appareil est conduite et recueillie en M. L'eau qui en résulte est pesée ; on pèse également l'eau déposée dans le séparateur S.

Traçons le diagramme entropique correspondant à l'évolution de 1 kilogramme de fluide (fig. 104).

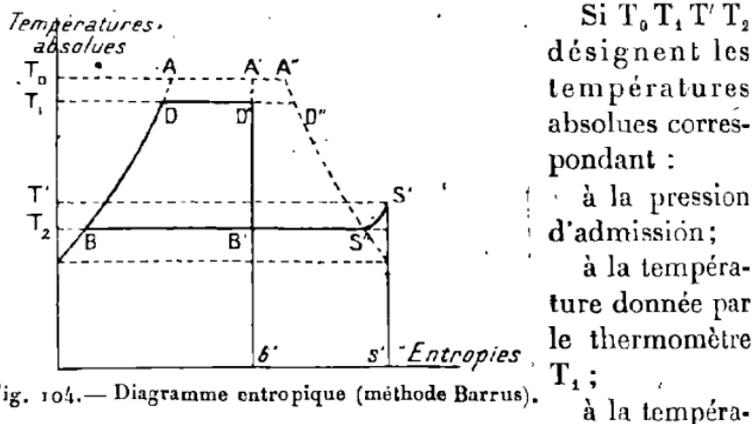


Fig. 104. — Diagramme entropique (méthode Barrus).

à la température donnée par le thermomètre T_1 ;

à la température donnée par le thermomètre T' ;

à la tension de la vapeur correspondant à la pression barométrique du moment.

On a le diagramme figuré dans lequel tout est connu, ou donné par des appareils, sauf la ligne $D'B'$ suivant laquelle le fluide se détend adiabatiquement dans son passage à travers le diaphragme.

Cette ligne, où seulement le point D' de celle-ci étant déterminé, le titre s'en déduit ; il est égal à $\frac{DD'}{DD''}$.

Pendant l'écoulement, la vapeur se détend suivant $D'B'$; les frottements du milieu ambiant et le travail des pressions que ce milieu exerce sur la vapeur ont pour effet d'augmenter l'énergie interne du fluide détendu ; l'eau que contient la vapeur est vaporisée ($B'S''$) et si le

tube n'est pas trop faible, la vapeur se surchauffe à pression constante ($S''S'$).

Lorsque l'écoulement se produit depuis un temps assez long pour que les températures indiquées par les thermomètres T_1 et T' restent fixes (un quart d'heure environ), on peut admettre que l'opération se fait sans cession de chaleur à l'appareil et que, par conséquent, on retrouve en B la chaleur que possédait la vapeur en A. Autrement dit, la chaleur cédée par la vapeur en se détendant de T_1 à T_2 a servi à vaporiser l'humidité de la vapeur et à surchauffer ce fluide. On peut donc écrire :

$$\text{aire } DD'BB' = \text{aire } B'S''S's'b'$$

Cette égalité permet de déterminer B' et, par suite, le titre $\frac{BB'}{BS''}$ et $\frac{DD'}{DD''}$.

on peut aussi opérer de la manière suivante :

En désignant par x le titre de la vapeur entrant dans AB; par λ_1 et λ_2 les chaleurs totales de vaporisation aux températures absolues T_1 et T_2 , ou t_1 et t_2 , on a :

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \lambda_1 x + t_2 - t_1 + 0,48(t' - t_2)$$

avec $t' = T' - 273^\circ$

d'où l'on tire x .

Ce procédé de détermination du titre n'est applicable que si l'humidité contenue dans la vapeur est en quantité assez faible pour que cette vapeur soit surchauffée après son passage à travers l'orifice de l'appareil car, alors seulement, on est sûr que l'humidité a été entièrement vaporisée.

Les pourcentages d'humidité $\frac{D'D''}{DD''}$ au delà desquels la

méthode n'est plus applicable sont donnés par le tableau suivant :

Pressions absolues	Températures	% d'humidité
2,1	121	0,80
4,9	149	2,44
9,5	177	4,21
17,5	205	6,13

140. **Méthode de M. Rateau.** — La méthode employée par M. Rateau est basée sur ce fait que la chaleur de vaporisation de l'eau est très élevée et que, par suite, il est nécessaire de mettre en jeu une quantité de chaleur relativement forte pour vaporiser la faible quantité d'eau entraînée par la vapeur. La mesure de cette quantité de chaleur donnera donc la quantité d'eau vaporisée avec une grande approximation.

Dans la méthode Barrus, la chaleur nécessaire est fournie par la détente brusque de la vapeur. Dans la méthode de M. Rateau, on l'emprunte à une source calorifique quelconque.

L'échantillon de vapeur, prélevé sous forme de courant continu dans un petit tuyau, est soumis à l'action de la chaleur d'un fourneau à gaz ou à pétrole, de manière qu'il devienne légèrement surchauffé. Un manomètre et un thermomètre permettent, à l'aide des tables de Regnault, de connaître cette surchauffe.

Si l'on connaît, d'autre part, le débit de vapeur et

¹ RATEAU. *Annales des mines*, 9^e série, tome II, 1897, page 506.

la quantité de chaleur introduite dans l'unité de temps, on pourrait facilement calculer la quantité d'eau vaporisée et, par suite, le titre initial. M. Râteau a voulu s'affranchir de ces mesures, en rendant l'apport de chaleur proportionnel au débit de vapeur et, pour cela, il introduit la chaleur au moyen de la vapeur elle-même.

A cet effet, l'échantillon est divisé en deux parties égales, ou dans un rapport en poids constant et connu. L'une des moitiés va se surchauffer plus ou moins fortement, puis se mélange à l'autre. On s'arrange pour que le mélange soit lui-même un peu surchauffé et des deux

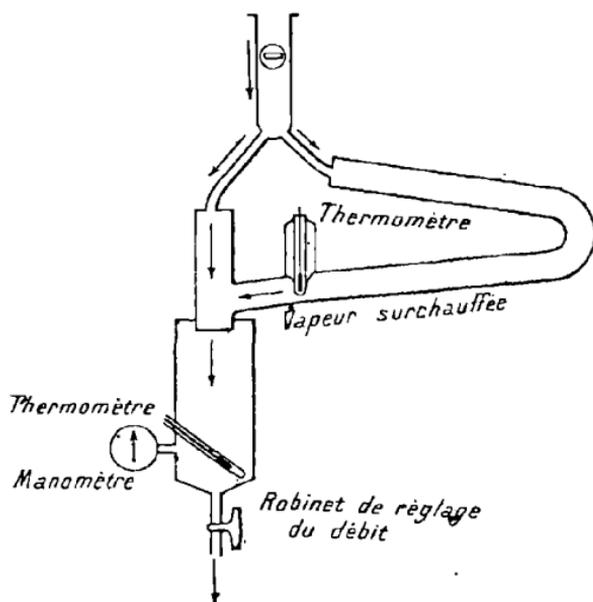


Fig. 105. — Appareil Râteau.

surchauffés on déduit comme suit la quantité d'eau (fig. 105).]

Soient θ_1 et θ_2 les surchauffes de la moitié et du mélange en degrés centigrades, et soit 0,48 la chaleur spécifique de la vapeur d'eau surchauffée.

Si la vapeur était initialement saturée et sèche, la surchauffe du mélange θ_2 serait juste égale à la moitié de θ_1 .

En général, il n'en sera pas ainsi. Alors, si x est la proportion d'eau, l'abaissement de température qu'elle donne $\frac{\theta_1}{2} - \theta_2$ est lié à la chaleur r de vaporisation de l'eau par la relation suivante :

$$rx = 2 \times 0,48 \left(\frac{\theta_1}{2} - \theta_2 \right)$$

d'où :

$$x = 0,48 \left(\frac{\theta_1 - 2\theta_2}{r} \right)$$

La chaleur de vaporisation r est un peu variable avec la pression. Elle est comprise entre 480 et 506 aux pressions ordinaires. Ce titre x , exprimé en millièmes, est donc à peu près égal, ou légèrement inférieur, à la différence $\theta_1 - 2\theta_2$ exprimée en degrés centigrades.

Dans le dispositif de M. Rateau, l'échantillon de vapeur est divisé en deux parties égales par deux petits tuyaux d'égale longueur soudés symétriquement à la partie inférieure d'un même raccord.

L'une des moitiés va se surchauffer en passant dans un tube placé au-dessus d'un fourneau à flamme réglable, puis elle vient rejoindre l'autre, à laquelle elle se mélange intimement, dans une boîte renfermant des diaphragmes percés de trous formant chicanes.

Finalement, toute la vapeur s'écoule dans l'atmosphère ou dans une bêche à eau, par le tuyau inférieur muni

d'une vis permettant de régler, au moyen d'un robinet, le débit total de la vapeur.

En agissant sur ce robinet, ainsi que sur la flamme du fourneau, on arrive très rapidement à graduer le débit de vapeur et l'apport de chaleur, de manière que le mélange ne soit que légèrement surchauffé, 2 à 3° seulement au-dessus de la température d'ébullition.

Le terme soustractif $2\theta_2$ de la formule est alors faible.

Les mesures à faire sont les suivantes :

La mesure de la pression du mélange ;

La mesure des températures θ_1 , θ_2 .

La pression est fournie par un manomètre métallique greffé sur la chambre où se réunissent les deux courants de vapeur. Les températures sont données par des thermomètres plongeant dans des dés en fer pleins de mercure.

L'application de la méthode comporte ces trois lectures simultanées, et le calcul du titre au moyen de la formule ci-dessus.

141. **Méthode densimétrique**¹. — La méthode densimétrique est basée sur ce que, pour une même température, le poids spécifique de l'eau est beaucoup plus grand que celui de la vapeur.

Le rapport de ces deux poids spécifiques est de 900 vers 120°, il est de 300 vers 160° et de 185 vers 180°.

Il résulte de ce fait que la présence d'une faible quantité de liquide dans la vapeur augmente d'une manière sensible le poids spécifique du mélange.

Si δ_1 et d_1 désignent respectivement les poids spécifiques de la vapeur sèche et de l'eau liquide à la température t de l'essai, π le poids spécifique du mélange essayé,

¹ G. ROSSET. *Génie civil*, n° du 21 décembre 1907, page 123.

si y est le nombre de mètres cubes d'eau contenus dans un mètre cube du mélange, on aura la relation

$$(1) \quad 1 \times \pi = (1 - y)\delta_1 + yd_1$$

δ_1 et d_1 sont connus lorsque t est connue, il suffit donc de connaître π pour tirer y de cette relation.

Le poids spécifique π du mélange peut être déterminé en mesurant la puissance vive de la vapeur en expérience. Cette mesure se fait en se servant d'un tube de Pitot contenant un liquide de poids spécifique π' à la température de l'essai. Si h est la hauteur de la colonne dans le tube, et si v désigne la vitesse de la vapeur dans la conduite, on a :

$$\pi'h = \frac{\pi v^2}{2g}.$$

La détermination de π se ramène à la mesure de v .

La mesure de la vitesse v se fait en déterminant le poids de vapeur qui a traversé, dans un temps donné, la conduite de section connue utilisée pour l'expérience. Ce poids de vapeur est le poids d'eau recueillie à l'extrémité

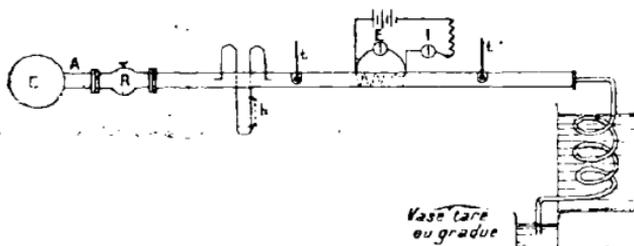


Fig. 106. — Dispositif de la méthode densimétrique.

de la conduite et provenant de la condensation de la vapeur soumise à l'expérience (fig. 106).

ω étant la section de la dérivation à l'endroit où la dénivellation manométrique est mesurée, on a :

$$(2) \quad \omega v \pi \theta = P.$$

Le tube de Pitot donne :

$$(3) \quad \pi' h = \pi \frac{v^2}{2g}$$

(remarquons que la dénivellation h' lue est égale à $2h$), d'où l'on tire :

$$(4) \quad \pi = \frac{1}{\pi'} \times \frac{1}{2g} \times \frac{1}{\omega^2} \times (P)^2 \times \frac{1}{h}.$$

De (1) on tire :

$$y = \frac{\pi - \delta_1}{d_1 - \delta_1}$$

dans laquelle toutes les grandeurs du 2^e membre sont connues.

La proportion en poids serait donnée par :

$$y_p = \frac{y \times d_1}{\pi}.$$

MÉTHODE CALORIMÉTRIQUE MODIFIÉE ¹

Dans la méthode calorimétrique modifiée on mesure la température t' que prend la vapeur, après qu'on l'a fait passer dans un surchauffeur électrique dont on connaît la dépense en watts.

Le poids p de vapeur humide débité par seconde est déterminé par la méthode densimétrique.

L'équation calorimétrique exprimera que la quantité de

¹G. ROSSET.

chaleur fournie par seconde, αEI calories (α étant le coefficient de transformation des watts en calories $\alpha = 0,00024$, E la tension et I l'intensité du courant électrique continu employé dans le surchauffeur), est égale à celle qui est absorbée, pendant le même temps, par le mélange de vapeur et d'eau passant de la température t à l'état de vapeur surchauffée à t' .

Soit x le poids d'eau à l'état liquide contenu dans 1 kilogramme du mélange; il passe par seconde un poids px d'eau qui est d'abord transformé en vapeur à la température t , puis est surchauffée de t à t' , et un poids $p(1 - x)$ de vapeur sèche qui est seulement surchauffée de t à t' .

L'équation calorimétrique est :

$$\alpha EI = [606,5 + 0,305t - c't]px + p(1 - x) \times 0,48 \times (t' - t)$$

c' étant la chaleur spécifique moyenne de l'eau à la température t . On peut prendre $c' = 1,015$.

Cette équation donne x lorsqu'on connaît p , E et I .

Ces trois grandeurs sont mesurées, p comme il a été dit ci-dessus; E et I sont donnés par un voltmètre et un ampèremètre.

1/2. Emploi des diverses méthodes. Pourcentage d'eau de primage à tolérer.

La méthode calorimétrique est la seule méthode qui soit employée couramment dans les usines de construction. Les autres ne sont encore que des méthodes de laboratoire. Souvent même pour simplifier l'application de la méthode calorimétrique, on se contente d'admettre que l'eau de primage est celle que l'on recueille dans les purgeurs. Pour ces raisons on n'impose généralement, que

des garanties d'eau de primage assez larges. Cependant, les pourcentages à tolérer ne doivent pas dépasser 5 %.

Les tolérances sur les mesures peuvent être de 50 à 100 % suivant l'habileté des opérateurs et les circonstances particulières à l'essai.

143. **Exemple de procès-verbal d'essais.** — Essais d'une chaudière Belleville munie d'un économiseur ¹.

La chaudière essayée correspondait aux données suivantes :

Dimensions de la chaudière	Chaudière	Economiseur
Nombre d'éléments vaporisateurs	9	7
Diamètre extérieur des tubes	100 ^{mm}	82 ^{mm}
Longueur des éléments	2 ^m ,070	1 ^m ,850
Nombre d'étages de tubes	7	6

Section de passage des gaz	}	vaporisateur 17 décimètres carrés par mètre carré de grille.	
		économiseur 19 décimètres carrés par mètre carré de grille.	
Surface de grille	}	4 m ² ,02.	
Surface de chauffe		tubes	85 m ² ,95
		économiseur	41 90
		Total	127 85
Rapport $\frac{S}{G}$	}	tubes	21,38 %
		totale	31,80 %
Grille à vides de 7 millimètres.			
Surface des vides, 28 % de la surface totale de la grille.			

¹ COMPÈRE, *Revue technique de l'Exposition universelle de 1900.*

L'alimentation se faisait au moyen d'un petit cheval Belleville ; l'eau était refoulée dans l'économiseur et passait ensuite dans la chaudière.

La vapeur d'échappement du petit cheval était envoyée dans un réchauffeur tubulaire qui élevait la température de l'eau avant son arrivée dans l'économiseur.

La pression de l'air aux mélangeurs de gaz était obtenue au moyen d'un compresseur. Cet air comprimé peut être remplacé par de la vapeur fournie par la chaudière elle-même.

Programme des essais. — Leur but était de vérifier le rendement de la chaudière à diverses allures en faisant varier la combustion par mètre carré de surface de grille de 75 à 175 kilogrammes de charbon.

Une première série d'essais a été faite en augmentant successivement la combustion par mètre carré de surface de grille de 75 à 175 kilogrammes, puis une deuxième série, dans l'ordre inverse, en passant de 175 à 75 kilogrammes, afin de contrôler les résultats obtenus dans la première série.

Les dispositions suivantes ont été prises pour ces essais.

a) *L'eau d'alimentation* était mesurée au moyen de deux bâches portant des échelles graduées de 5 en 5 litres. Des relevés étaient faits à la fin de chaque heure pour contrôler la variation totale à la fin de l'essai.

Alternativement, l'une des bâches se remplissait pendant que l'autre se vidait dans une bêche inférieure.

b) *Le charbon employé* était du Cardiff criblé au moyen d'une fourche dont les dents étaient espacées de 19 milli-

mètres ; de façon à laisser de côté les menus fins et les poussières.

Le charbon était pesé avant d'être placé sur la grille.

c) *Le foyer comportait trois portes de chargement.* — Les trois parties du foyer étaient chargées successivement à des intervalles absolument réguliers.

Pour cela, le chauffeur avait sous les yeux une montre placée dans un cadre portant des divisions correspondant aux intervalles des charges. Celles-ci étaient faites lorsque l'aiguille des minutes était en regard des divisions du cadre.

Pendant chaque charge, un aide ouvrait la porte au moment où le chauffeur lançait sa pelletée de charbon et la refermait aussitôt après. Le chauffeur n'avait ainsi qu'à s'occuper de son feu.

Les conditions d'utilisation de la vapeur produite étaient réglées par un personnel spécial.

d) *La vapeur de la chaudière en expérience se rendait dans un ballon où venait également la vapeur des chaudières nécessaires à la marche des ateliers.*

Sur ce ballon était placée une prise de vapeur communiquant avec une cheminée de dégagement sur les toits. Cette prise de vapeur comportait une vanne que l'on réglait de façon à maintenir la pression constante dans le ballon.

e) *Les cendres étaient enlevées à la fin de l'essai.* Elles étaient placées en totalité sur les chaudières voisines de façon qu'elles puissent sécher ; elles étaient pesées lorsqu'elles étaient sèches.

Dans la deuxième série d'essais, un échantillon de cendres était seul mis à sécher. Les cendres étaient alors pesées humides, et la correction était faite en prenant comme pourcentage d'humidité celui obtenu sur l'échantillon.

f) *La durée des essais* avait été déterminée de façon que, dans chacun d'eux, il n'y ait pas de décrassage.

Les feux étaient complètement décrassés à la fin de l'essai et les machefers pesés.

g) *Niveau d'eau.* — Les niveaux dans la chaudière étaient lus : 1° sur le tube placé, comme dans les chaudières analogues, sur la colonne automotrice ; 2° sur un tube placé spécialement à cet effet sur l'une des colonnes de retour reliant l'opérateur au collecteur d'alimentation.

La différence de niveau entre la colonne de retour et la colonne automotrice donne la charge sous laquelle s'effectue la circulation ; cette charge varie peu avec l'augmentation de l'allure ; elle est de 40 centimètres d'eau en moyenne.

h) *Tirage.* — La cheminée n'ayant que 9 mètres de hauteur, le tirage qu'elle donne est insuffisant pour le fonctionnement de la chaudière.

Le tirage nécessaire est obtenu à l'aide d'un jet de vapeur se rendant dans la cheminée par un tuyau pris sur le générateur.

Quant à l'ouverture du cendrier, elle était donnée par le nombre de crans, entre le cran placé à l'extrémité du secteur denté, le long de la devanture, et le cran d'arrêt.

Les tirages étaient relevés au moyen d'un manomètre incliné à 1/10.

i) *Analyses de gaz.* — Ces analyses ont permis de régler les arrivées d'air dans les foyers, le tirage étant déterminé d'avance, suivant l'allure résultant de la combustion par mètre carré de surface de grille.

Pendant un essai, il a été constaté un excès d'air au début de l'essai, bien que le tirage et l'ouverture des portes du cendrier aient été réglés convenablement.

La cause de cet excès était due à des rentrées par les portes de boîtes à tubes qui fermaient imparfaitement. Ces rentrées ont été supprimées en faisant, le long des cadres des portes, des joints au moyen d'amiante et de terre réfractaire.

Des analyses des gaz rejetés ont été faites lors de chaque essai.

Les résultats qu'elles ont donnés montrent que la combustion s'est faite avec peu d'air en excès, puisqu'il n'a pas été trouvé d'oxyde de carbone même avec 2 à 3 % d'oxygène seulement, chiffres trouvés aux fortes allures de 175 kilogrammes par mètre carré de surface de grille.

La loi de variation dans la composition des gaz est très nette. La proportion d'acide carbonique a été en augmentant de la marche à 70 kilogrammes à celle de 175 kilogrammes en même temps que la proportion d'oxygène allait en diminuant.

Eau entraînée. — Des expériences ont été faites lors de chaque essai pour déterminer l'eau entraînée par la vapeur.

Cette détermination a été faite en rendant alcaline

l'eau de la chaudière, au moyen d'adjonction de carbonate de soude et en recherchant si la vapeur présentait des traces d'alcalinité.

Pour cela, on s'est servi d'une purge existant sur la conduite de vapeur de la chaudière, et on a fait passer cette purge dans un réfrigérant où se condensait la vapeur.

En essayant cette eau, il n'a été trouvé aucune trace alcaline, ce qui démontre que la vapeur n'a pas entraîné d'eau.

k) *Température des gaz. Réchauffement de l'eau.* — Les températures à la base de la cheminée ont été relevées au moyen du pyromètre à cadran de la maison Delaunay-Belleville.

Pour contrôler ces indications, on s'est servi d'un thermomètre à mercure graduée jusqu'à 340° et d'un calorimètre Salleron pouvant être employé jusqu'à 1 000°.

Les températures dans la chambre de combustion entre la chaudière et l'économiseur ont également été relevées.

On a trouvé les résultats suivants :

Marche à 70 kilogrammes par mètre carré de grille.

Tirage : 6 millimètres à la base de la cheminée.

Température des gaz chambre de combustion	268°
Cheminée	232°
Réchauffement de l'eau dans l'économiseur	57°

Marche à 175 kilogrammes par mètre carré de grille.

21 millimètres de tirage.

Température des gaz chambre de combustion	564°
Cheminée	404°
Réchauffement de l'eau dans l'économiseur	118°

De ces essais découlent les deux conclusions suivantes :

1° A 70 kilogrammes de charbon par mètre carré de surface de grille, ce qui correspond sensiblement à l'allure industrielle pour laquelle sont établies les chaudières Belleville, les vaporisations ont été de 23^{kg},15 par mètre carré de surface de chauffe totale, et 34^{kg},43 par mètre carré de surface de chauffe productrice.

Le coefficient de vaporisation a été de 11^{kg},430 par kilogramme de charbon, sec et net, en eau à 0°, et vapeur à 15 kilogrammes.

2° Le passage de la marche de 70 kilogrammes à 175 kilogrammes n'a entraîné qu'une faible diminution de rendement en vapeur par kilogramme de charbon.

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau ci-après :

Résultats des essais.

Eléments de l'essai	Marche à 70 kilogrammes	Marche à 175 kilogr.
Durée de l'essai	8 heures	4 heures
Nature du charbon	Cardiff criblé	
Intervalle entre chaque charge . .	3'	2'
Charbon consommé pendant l'essai	2252 kg.	2802 kg.
Charbon consommé entre l'allumage et le commencement de l'essai	820 kg. dont 120 d'allumage	1470 kg. dont 220 d'allumage
Charbon consommé de l'allumage à la fin de l'essai	3072 kg.	4272 kg.
Cendres, de l'allumage à la fin . .	129	142
Machefers, de l'allumage à la fin .	103	101
Humidité du charbon	1,66 %	1,98 %
Charbon sec pendant l'essai . . .	2214,62	2746,52
Charbon sec net pendant l'essai . .	2045,72	2586,81
Pression moyenne-chaudière . . .	14.38	15,56
Eau vaporisée essai	23675	24995
Vaporisation par heure	2959	6248
Vaporisation par heure et par mètre carré de grille	739	1562
Vaporisation par heure et mètre carré de surface de chauffe.) tubes . .	34.43	72,70
) totale . .	23.15	48,87
Combustion par heure	281.50	700,50
Combustion par heure et mètre carré de grille	70,375	175,125
Rendement en vapeur par kilogramme de charbon.) brut . .	10,513	8,920
) sec. . .	10,690	9,100
) sec net . .	11,572	9,662

Résultats des essais (suite).

Éléments de l'essai	Marche à 70 kilogrammes	Marche à 175 kilogr.
Rendement par kilogramme de charbon sec net, en eau à 0°, et vapeur à 15 kilogrammes. . .	11,430	9,461
Eau entraînée	néant	néant
Pression de vapeur		
{ générateur	14,38	15,56
{ tirage	1,12	6,65
Niveaux		
{ colonne automoteur	22 ^{cm} ,88	23 ^{cm} ,07
{ colonne retour	62 ^{cm} ,8	68 ^{cm} ,07
Tirages		
{ cendrier	3 ^{mm} ,40	1 ^{mm} ,75
{ boîte à tubes } bas	5 ^{mm}	8,28
{ } haut	5 ^{mm} ,58	15 ^{mm} ,78
{ cheminée	5 ^{mm} ,61	21 ^{mm} ,60
Températures		
{ air extérieur	9°	9°
{ à l'économiseur (en'rée)	40	25
{ à la cheminée	232	404
Analyse des gaz		
{ Co ²	12	16
{ O	7	3
{ Co	0	0
Résidus du charbon		
{ humidité	1,66	1,98
{ cendres	4,17	3,34
{ machefers	3,33	2,36
Température de la vapeur corres- pondant à la pression	198,1	201,5

CHAPITRE XXIII

APPAREIL DE CONTROLE ET DE SÉCURITÉ DES CHAUDIÈRES

Les règlements relatifs aux chaudières et aux appareils à vapeur en vigueur en France prescrivent que toute chaudière doit être munie des appareils de contrôle et de sécurité suivants :

un manomètre ;

deux indicateurs de niveau, dont au moins un à tube de verre ;

deux soupapes de sûreté ;

un clapet automatique de retenue de vapeur lorsque la chaudière fait partie d'une batterie dont chaque élément envoie sa vapeur dans la même conduite collectrice ;

un clapet automatique d'eau d'alimentation ;

une vanne de vapeur.

144. **Manomètres.** — Ce sont des appareils indiquant la pression effective qui s'exerce dans la chaudière, c'est-à-dire la différence entre la tension de la vapeur et la pression atmosphérique.

Les manomètres industriels sont métalliques.

Manomètre Bourdon. — Ce manomètre est basé sur la déformation que subit, proportionnellement à sa pression intérieure, un tube méplat recourbé (fig. 107). •

L'appareil se compose d'un tube creux à section elliptique, fixé par une de ses extrémités à la tubulure d'amenée de vapeur et portant à son autre extrémité, hermétique-

ment fermée, une aiguille mobile. Cette aiguille se meut devant un cadran divisé portant une marque ostensible à la pression indiquant le timbre.

Le tube est rempli d'un liquide incongelable, d'eau ordinaire, si l'appareil ne doit pas subir l'effet de la gelée. C'est par l'intermédiaire de ce liquide que la pression de vapeur se transmet à l'intérieur du manomètre.

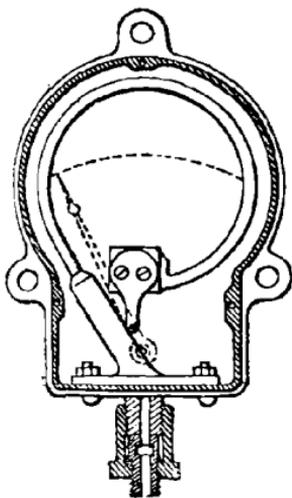


Fig. 108.
Manomètre Guichard.

l'extrémité du spiral. Elle est reliée à celui-ci par l'intermédiaire d'une petite bielle dont on fixe la longueur au moment du réglage.

Manomètre Guichard. — Dans ce genre d'appareil,

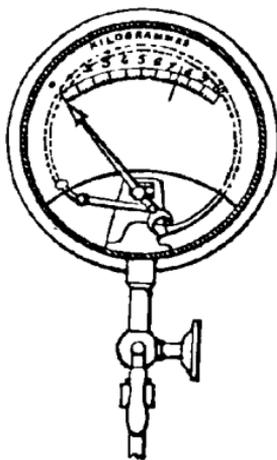


Fig. 107.
Manomètre Bourdon.

L'appareil est gradué par rapport aux indications d'un manomètre à mercure à air libre, auquel on donne la forme d'un manomètre tronqué pour employer une colonne de hauteur raisonnable.

A la longue, le tube recourbé conserve une déformation permanente ; aussi, pour faciliter le réglage, les appareils actuels ont été modifiés de la manière suivante :

l'aiguille n'est plus formée par l'extrémité du spiral. Elle est reliée à celui-ci par l'intermédiaire d'une petite bielle dont on fixe la longueur au moment du réglage.

l'extrémité du tube spiral est fixée à une pièce rigide munie d'un petit appendice qui s'engage dans une coulisse portée par l'aiguille (fig. 108).

Le mouvement de la pièce rigide, résultant de l'expansion du tube, entraîne celui de l'appendice dans la coulisse et, par suite, celui de l'aiguille devant le cadran.

Manomètre Challeton. — Un ressort plein, enroulé en spirale de manière à former un tronc

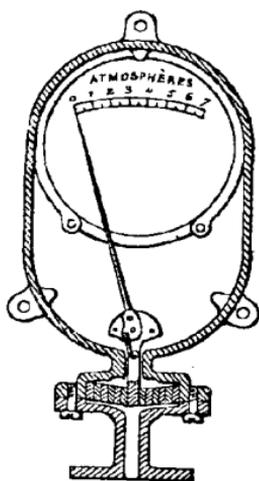


Fig. 109.
Manomètre Challeton.

d'une tige et d'une bielle.

de cône très aplati, est placé horizontalement à la base de l'appareil. La spire extérieure est fixe; le ressort repose sur une membrane bombée qui, en se redressant sous l'action de la pression, diminue sa flèche (fig. 109).

Le ressort communique son mouvement à l'aiguille par l'intermédiaire

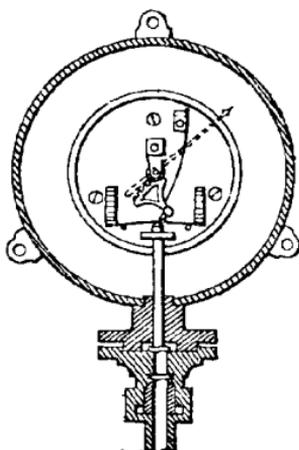


Fig. 110
Manomètre Desbordes.

Manomètre Desbordes. — Dans cet instrument, la pression s'exerce sur une rondelle de caoutchouc qui transmet le mouvement à un petit ressort fixé sur deux tasseaux par l'intermédiaire d'un petit piston et d'une bielle verticale. Ce ressort agit sur une came fixée

à un secteur denté engrenant avec un pignon ; celui-ci détermine, à son tour, le mouvement de l'aiguille. Un ressort antagoniste ramène le secteur denté quand la pression baisse (fig. 110).

L'inconvénient de cet appareil réside dans la détérioration rapide de la rondelle de caoutchouc.

Manomètre Ducomet. — Dans cet appareil, la pression se transmet à l'aiguille par l'intermédiaire d'un diaphragme en cuivre recouvert d'une feuille d'argent. Une petite bulle fixée à la pièce en contact avec le diaphragme actionne l'aiguille par l'intermédiaire d'un arbre coudé. Une lame de ressort enroulé ramène l'aiguille en arrière quand la pression vient à baisser (fig. 111).

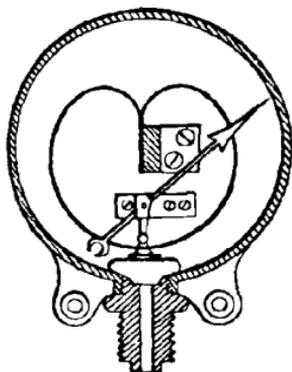


Fig. 111.
Manomètre Ducomet.

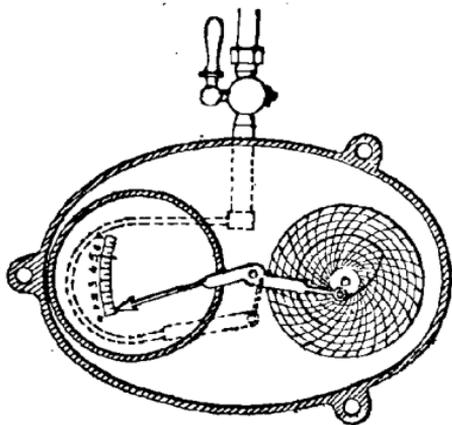


Fig. 112.
Manomètre enregistreur Bourdon.

Manomètres enregistreurs. — Les manomètres enregistreurs ne diffèrent pas comme principe des appareils non enregistreurs dont ils sont issus.

Le manomètre enregistreur Bourdon est identique à celui du même constructeur qui a été décrit précédemment, mais le tube spiral est relié, en même temps qu'à l'aiguille indicatrice, à un style qui vient marquer un trait sur une carte circulaire divisée (fig. 112).

Sur cette carte, les cercles concentriques figurent, allant du centre à la circonférence, des pressions de plus en plus élevées. Les traits courbes rayonnants figurent les heures et les fractions d'heure de la journée. Un mouvement d'horlogerie fait faire à la carte un tour en 24 heures.

145. **Étalonnage des manomètres.** — Les manomètres étalons servent à étalonner les manomètres destinés à être placés sur les chaudières.

Ils sont tarés jusqu'à 20 à 25 kilogrammes par centimètre carré, directement, au moyen d'un manomètre à mercure.

Pour ne pas donner à la colonne mercurielle une hauteur trop considérable, difficile à organiser et à observer, on utilise, dans le même but, le *manomètre tronqué*.

Manomètre tronqué. — Le principe de cet appareil¹ est le suivant :

Un tube, ouvert à ses deux extrémités, est recourbé un certain nombre de fois et contient du mercure et de l'huile. L'une de ses extrémités est mise en communication avec la pression à mesurer. Au repos, c'est-à-dire lorsque les deux extrémités sont ouvertes dans l'atmosphère, le mercure se trouve au même niveau dans chaque branche. Lorsqu'on exerce une pression à l'une

¹ Un manomètre tronqué existe au Laboratoire du Conservatoire des Arts-et-Métiers.

des extrémités du tube, une dénivellation se produit dans chacun des U qui le forment et la pression est mesurée par la somme des dénivellations produites.

Un manomètre trouqué ainsi constitué ne serait pas d'un emploi commode, en raison des oscillations du mercure dans les tubes. En réalité, l'appareil se compose d'une série de manomètres à mercure, réunis entre eux par leur partie supérieure pour former une sorte de tube recourbé analogue au tube ci-dessus, mais présentant en divers points des chambres à mercure et à huile destinées à rendre invariables les niveaux inférieurs des colonnes partielles (fig. 113).

La valeur de pression qui s'exerce par le tube T se déduit de la lecture des niveaux du mercure en $A_1 B_1 A_2 B_2$, etc., etc. et C dans la colonne ouverte à l'air libre.

S'il se produit une variation de pression pendant la mesure, le niveau ne varie pas d'une façon sensible dans les chambres, et toute la variation se répercute sur la colonne ouverte à l'air libre.

Lorsque la pression à mesurer est faible, inférieure à 10 kilogrammes par centimètre carré par exemple, la dénivellation serait trop faible pour faire apparaître le mercure dans les vases B, on met alors en court circuit un certain nombre d'éléments au moyen du tuyau $a_1 a_3 a_3$ et des robinets a_4, a_3, a_2 .

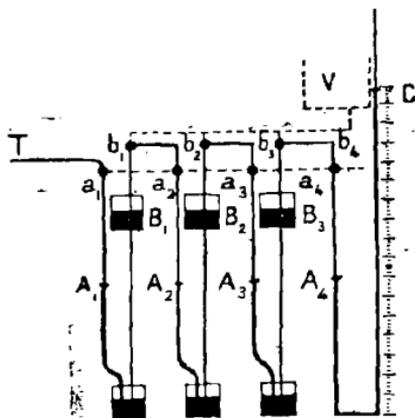


Fig. 113. — Manomètre trouqué.

Enfin, des robinets *b* permettent de régler les niveaux dans les divers éléments en évacuant de l'huile dans le récipient *V* ; si par exemple le niveau venait à s'élever en dehors des limites de l'échelle graduée, on évacuerait de l'huile par le robinet *b*, pour abaisser le niveau *C* en élevant le niveau *B*.

*Appareil à tarer les manomètres*¹. — Cet appareil² se compose essentiellement d'un système de deux pistons

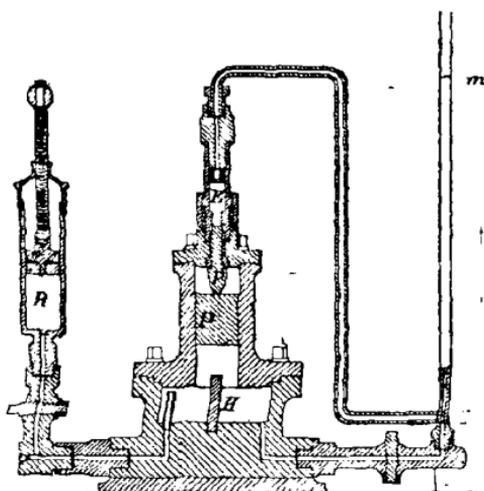


Fig. 104. — Appareil à tarer les manomètres.

démultiplicateurs à mouvement loupoyant (fig. 114). L'un de ces pistons *p* reçoit la pression d'un réservoir à liquide *E* sur lequel est branché le manomètre à tarer, l'autre piston *P* transmet cette pression à un bain de mercure *H* par l'intermédiaire d'une couche d'huile.

La hauteur de la colonne mercurielle *m*, qui est en communication avec le bain de mercure, donne, à un facteur près qui dépend du rapport des diamètres des pistons, la pression à l'intérieur du réservoir à liquide.

¹ C^t MEXGIN. *Rapport au Congrès international de mécanique, appliquée de 1900.*

² Employé à la Section Technique de l'Artillerie.

Le réservoir E est en communication avec une pompe système Cailletet qui peut élever la pression jusqu'à 300 atmosphères.

Le liquide comprimé vient agir sur un bain de graisse E dans lequel est noyée la tige du petit piston *p*.

Une manette sert à donner à ces deux organes un mouvement louvoyant, et une pompe latérale R permet d'injecter de l'huile dans la chambre inférieure H du piston de manière à maintenir ce dernier à une hauteur à peu près constante.

L'appareil comporte un jeu de petits pistons de divers diamètres pouvant être introduits dans des cylindres convenables, susceptibles de se substituer l'un à l'autre sur l'appareil.

Cette manière de procéder permet d'utiliser toute la hauteur de la colonne mercurielle pour les diverses pressions à évaluer.

La précision des mesures est donc fonction de la pression maximum à déterminer, et elle est d'autant plus grande que cette pression maximum est plus faible.

On peut compter sur une approximation de $1/4$ d'atmosphère pour les pressions atteignant 25 atmosphères.

Le tarage s'effectue d'une façon très simple en coiffant la tige du petit piston d'un plateau sur lequel on dispose des poids connus.

1/6. Indicateurs de niveau. — Les règlements en vigueur imposent, sur chaque chaudière, la présence de deux indicateurs de niveau ; ils doivent être bien apparents, bien éclairés et sous les yeux du chauffeur.

Les systèmes employés sont très nombreux, ils peuvent se ramener à trois types principaux :

les indicateurs à tubes de verre ;

les indicateurs à robinets ;

les indicateurs à flotteurs.

Indicateur à tube de verre. — Il se compose d'un tube vertical maintenu par deux presse-étoupes en bronze, un à chaque extrémité. Ce tube communique, par ses parties supérieure et inférieure, au moyen de tubes horizontaux, avec la chaudière. L'un de ces tubes débouche au-dessus du niveau normal de l'eau, l'autre au-dessous. Ils sont munis chacun d'un robinet qui peut isoler le tube de la chaudière pour permettre le démontage et le nettoyage. Les presse-étoupes portent chacun un bouchon permettant le nettoyage des tubes de communication avec la chaudière. Le presse-étoupe inférieur porte, en plus, un robinet de purge. Quelquefois, le tube en verre porte un filet rouge sur un fond émail blanc. La réfraction agrandit l'image de ce filet, dans la partie baignée par l'eau, et rend la lecture du niveau plus facile.

D'autres fois, les tubes sont montés sur une plaque en fonte portant un index à la hauteur du niveau minimum.

Un des inconvénients de ce niveau réside dans sa trop grande sensibilité ; celle-ci se traduit par une agitation continue du liquide dans le tube, agitation qui empêche toute lecture précise. De plus, le niveau est fragile et s'encrasse facilement.

Le principal inconvénient de l'indicateur à tube de verre est sa fragilité. Les ruptures du tube donnent lieu

à des accidents : brûlures, éclats de verre, que l'on a cherché à éviter ou à atténuer :

1° En commandant les robinets de communication avec la chaudière d'une distance assez grande pour que leur fermeture ne soit pas dangereuse pour l'opérateur ;

2° En adoptant des montures spéciales à billes obturatrices, ces billes étant placées de manière à ne pas gêner la purge des tubes de niveau, et à s'appliquer sur l'orifice de sortie de l'eau ou de la vapeur, lorsque le tube vient à se rompre ;

3° Enfin l'un des moyens les plus efficaces d'échapper aux accidents provenant de la rupture des tubes de verre, est de constituer ces tubes, ou leur partie utile, au moyen de verres très solides, de verre armé par exemple, ou de glaces très épaisses enchâssées dans une carcasse métallique.

Indicateur à tube de verre et à barillet. — Pour éviter en partie les inconvénients des indicateurs à tubes de verre, on place sur le trajet des tubes horizontaux de communication avec la chaudière, un petit réservoir ou barillet dans lequel l'eau se refroidit et se décante. Elle arrive ainsi moins sale dans le tube.

De plus, l'agitation est beaucoup moindre et les lectures du niveau sont aussi rendues plus faciles.

M. Damourette a encore perfectionné l'appareil en séparant le barillet par une cloison percée d'un trou ; les in-

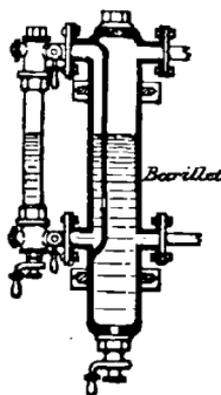


Fig. 115. — Niveau à tube de verre et à barillet.

dications du niveau ne sont évidemment exactes qu'au-dessus de ce trou.

Une tubulure placée à la partie inférieure du barillet permet le nettoyage de cet organe.

Niveau Heurley. — Le tube est supprimé. Le corps de

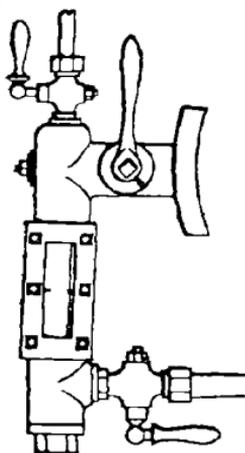


Fig. 116.
Niveau Heurley.

l'indicateur est en fonte et porte un cadre rectangulaire où se trouve enchâssée une glace de 1 centimètre d'épaisseur recuite à haute température. Ses ouvertures d'accès sont grandes et l'appareil ne court aucun risque d'obstruction.

Le niveau Vaultier, analogue au précédent, porte à l'intérieur du barillet une plaque de verre, émaillée blanc, qui sert d'écran et, en même temps, atténue le mouvement du liquide devant la glace.

Niveau épurateur Foucault. — Il se compose de deux branches creuses en fonte, communiquant à leurs deux extrémités. La vapeur pénètre par le raccord supérieur; l'eau arrive dans le barillet: 1° par un raccord latéral; 2° par un conduit débouchant à la partie inférieure. Sur ce conduit est placé un robinet à trois voies. Cette dernière communication existe en temps normal (fig. 117).

La branche de l'appareil opposée à la chaudière porte le tube en verre. L'eau s'épure et se refroidit dans la branche inférieure du siphon formé par les deux tubes en fonte, et le tube de verre reste net. De plus, ce refroidi-

dissement de l'eau dans le barillet provoque un courant d'eau continu, de la prise d'eau supérieure à la prise inférieure, qui s'oppose aux dépôts de matières solides. On peut d'ailleurs purger plus énergiquement en manœuvrant le robinet à trois voies de manière à faire communiquer le tube siphon avec l'extérieur.

Le niveau Bourdon à tube de verre est organisé de manière à permettre le nettoyage complet de l'appareil. Il se compose d'un tube de niveau monté sur un barillet portant à sa partie

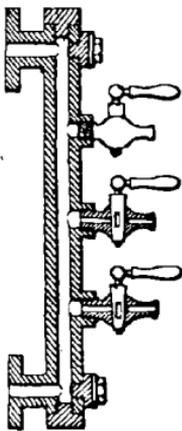


Fig. 118.
Niveau à robinets.

inférieure un appareil de nettoyage qu'on peut faire fonctionner de l'extérieur par une manette à vis.

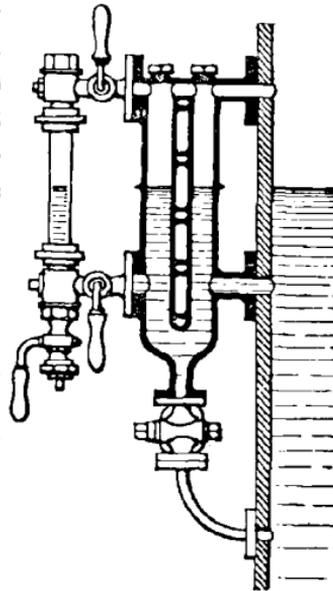


Fig. 117.
Niveau épurateur Foucault.

117. **Indicateur à robinets.** — Cet appareil est formé d'un système de trois robinets placés, soit sur la paroi même de la chaudière, soit sur un barillet spécial. Celui du milieu est placé à hauteur du niveau normal dans la chaudière ; les deux autres, à une distance choisie de telle manière qu'ils donnent une sécurité complète en cas d'abaissement du niveau.

Le robinet supérieur doit donner de la vapeur sèche, le robinet inférieur de l'eau ; celui du milieu doit donner un mélange d'eau et de vapeur. Le robinet du milieu indique, en réalité, s'il y a lieu de consulter les autres (fig. 118).

Cet appareil n'est guère employé que sur des chaudières de locomobiles ou de locomotives.

Pour les petites chaudières, on place parfois ces robinets sur le barillet de l'indicateur à tube de verre ordinaire.

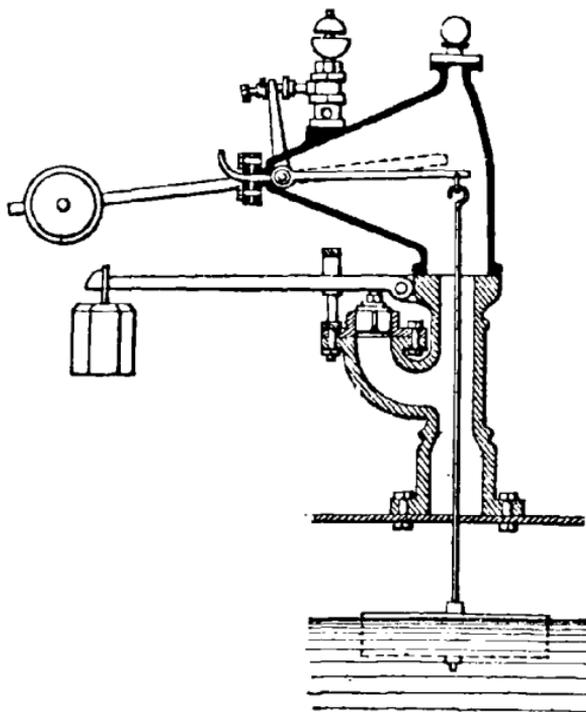


Fig. 119. — Flotteur Bourdon

où à une aiguille indicatrice, au moyen de dispositifs appropriés.

148. Indicateurs à flotteurs.

— D'une façon générale, ces indicateurs se composent soit d'une pièce métallique creuse, soit d'une pièce flottante dont le mouvement de montée ou de descente se transmet par l'extérieur à un sifflet

Quand l'appareil comporte une pièce creuse, celle-ci

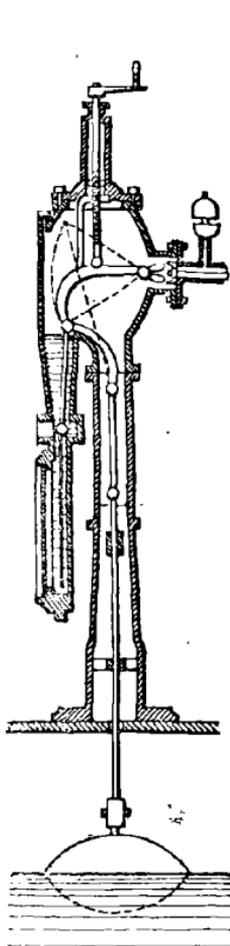


Fig. 120.
Indicateur Glass.

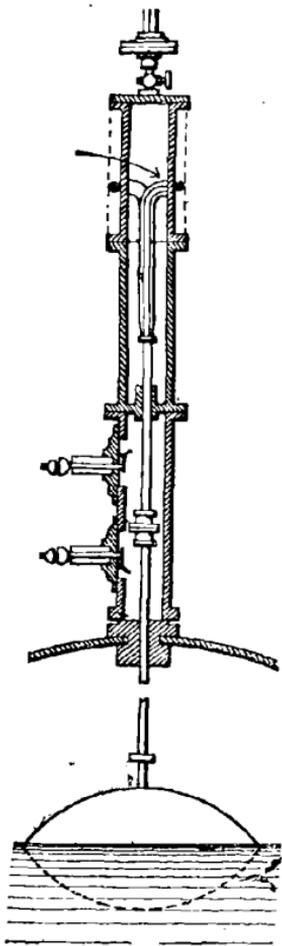


Fig. 121.
Foyleur magnétique.

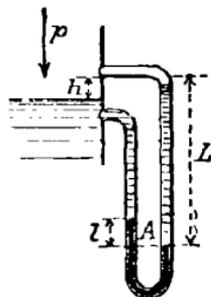


Fig. 122.
Appareil Planche.

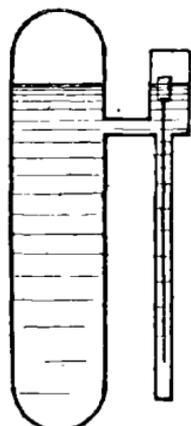


Fig. 123.
Appareil Renaux
et Pompain.

renferme un peu d'eau qui se transforme en vapeur et

fait équilibre à la pression de la chaudière. On évite ainsi l'écrasement de cette pièce sous l'effet de la pression.

Les figures 119, 120 et 121, montrent des indicateurs de ce genre, leur mode d'action se comprend de lui-même.

Dans les chaudières métallurgiques, les appareils de ce genre à lecture directe ne peuvent convenir parce que leurs indications ne seraient plus lisibles pour le chauffeur. On doit les remplacer, conformément aux règlements sur la matière, par d'autres, faciles à lire.

L'appareil Planche (fig. 122) se compose d'un siphon

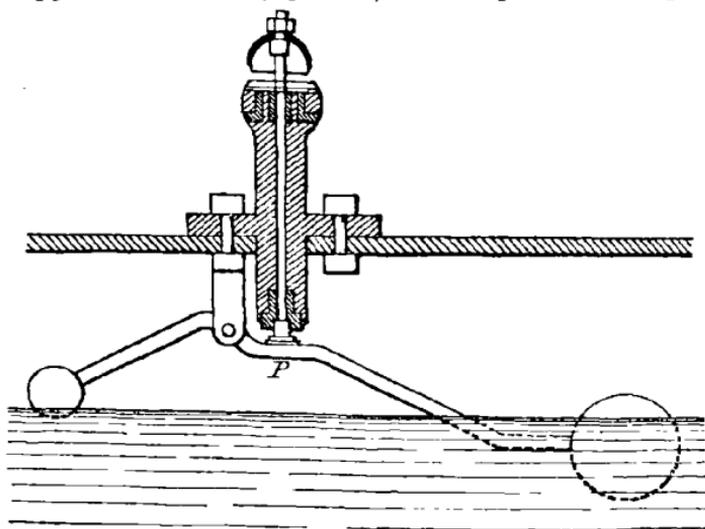


Fig. 124. — Sifflet d'alarme

renversé dont les deux branches communiquent avec la chaudière l'une au-dessus, l'autre au-dessous du niveau moyen normal. Le fond du siphon contient une certaine

quantité de mercure; les deux branches sont remplies d'eau.

De la dénivellation de la colonne de mercure on peut déduire le niveau. On a, en effet, en écrivant l'égalité des pressions dans le plan A :

$$l(\pi' - \pi) = \pi h$$

π étant la densité de l'eau, π' celle du mercure, h la distance du niveau au débouché supérieur du tube, et l la dénivellation du mercure.

De l'expression ci-dessus on tire $h = 12,6 l$.

L'appareil Renaux et Bonpain (fig. 126) se compose d'un réservoir placé au niveau de l'eau dans la chaudière de hauteur plus grande que la distance comprise entre les niveaux limites.

Ce réservoir est prolongé à sa partie inférieure par un tube vertical cylindrique en cuivre, terminé par un tube de verre. Un flotteur placé dans le réservoir suit les variations du niveau de l'eau et les rend apparentes dans le tube de verre au moyen d'une tige qui lui est fixée, et qui est terminée par un index ou une petite sphère.

149. Soupapes de sûreté. — Chaque chaudière doit être munie de deux soupapes de sûreté; leur rôle est d'évacuer automatiquement la vapeur dès que la pression effective dépasse le timbre réglementaire.

« Chacune des soupapes doit suffire pour évacuer à elle seule et d'elle-même toute la vapeur produite, dans toutes les circonstances du fonctionnement, sans que la pression effective dépasse de plus de un dixième la pression du timbre » (décret du 7 octobre 1907 relatif aux appareils à vapeur installés à terre).

Une soupape de sûreté se compose en principe d'un disque circulaire s'engageant exactement dans une ouverture du dôme ou de la partie supérieure de la chaudière; une pression équivalente à celle du timbre s'exerce sur elle.

La pression sur la soupape s'exerce habituellement par l'intermédiaire d'un levier chargé d'un poids convenable à son extrémité. Elle est transmise par un couteau qui s'appuie au centre de la soupape.

Dans d'autres cas, dans les locomotives notamment, ce dispositif ne pourrait convenir à cause des soubresauts que subit la chaudière, et on le remplace par des ressorts dont la tension est réglée en conséquence.

Une soupape doit avoir des dimensions telles qu'elle puisse évacuer la vapeur produite par la chaudière, quelle que soit l'activité du feu. Sa surface doit donc être proportionnelle à la puissance de vaporisation, à la surface de chauffe et, comme le volume occupé par un kilogramme de vapeur est d'autant plus grand que la pression est plus faible, la surface de la soupape de sûreté doit varier en raison inverse de la pression.

L'ordonnance de 1843 donnait pour déterminer le diamètre de cet organe la formule suivante :

$$d = 2,6 \sqrt{\frac{S}{u - 0,412}}$$

S représentant la surface de chauffe en mètres carrés, u la pression en atmosphères.

Aujourd'hui les chaudières sont timbrées en kilogrammes, et on emploie la formule de M. Denfert :

$$d = 2,6 \sqrt{\frac{S}{t - 0,588}}$$

S ayant la même signification et t désignant la tension de la vapeur en kilogrammes.

Pour qu'une soupape fonctionne bien, il est essentiel qu'elle s'applique d'une façon convenable sur sa surface d'appui ; ce résultat est obtenu par rodage des deux pièces l'une contre l'autre avec interposition d'un peu d'huile et de poudre fine d'émeri.

La soupape est guidée verticalement par un téton central ou par des ailettes. Il est à recommander de ne pas laisser subsister de frottements anormaux ou de risques de coincement dans ces parties.

Le siège de la soupape est souvent constitué par une pièce en bronze engagée dans la fonte, les dilatations inégales des deux métaux peuvent produire une contraction du siège qui a pour effet d'empêcher la soupape de se soulever. Il y a donc lieu de veiller à ce que le siège rapporté, lorsqu'il existe, ne puisse gêner le fonctionnement.

Le réglage d'une soupape de sûreté ne présente aucune difficulté ; il suffit de déterminer le poids à placer à l'extrémité du levier pour que la pression transmise par le couteau à la soupape fasse équilibre à la pression qu'exerce sur elle la vapeur de la chaudière.

Lorsqu'elle fonctionne, la force qui la soulève diminue, par suite de la diminution de pression que la nappe de vapeur exerce sur elle. La soupape tend donc à se refermer avant qu'elle n'ait eu le temps de débiter la vapeur en excès, et il en résulte une surpression qui fait dépasser le timbre.

Une soupape ordinaire, analogue à la simple soupape de Papin, n'est donc pas un appareil limitant automatiquement la pression à une certaine valeur, mais simplement un indicateur plus ou moins sensible de la tension

atteinte ; elle est insuffisante pour remplir le but qui lui est dévolu. Aussi a-t-on cherché à améliorer son fonctionnement en l'organisant de telle sorte que la force qui la soulève augmente, ou au moins reste constante, lorsqu'elle laisse échapper la vapeur.

Ce résultat est obtenu de différentes manières ; dans la *soupape Adams*, au moyen d'une gorge à la périphérie ; dans la *soupape Dulac*, en lui donnant une forme conique ; dans celle de la *Compagnie des chemins de fer P. L. M.*, en la constituant par deux disques superposés ¹.

Dans d'autres dispositifs on cherche à éviter la réduction de la pression sous la soupape pendant l'écoulement en éloignant la partie pressée par la vapeur de la nappe de vapeur qui s'écoule ; on arrive même à accroître la force qui soulève la soupape et, par suite, sa levée.

Dans la *soupape Codron* (fig. 125), le clapet repose sur deux sièges concentriques S et S' de telle sorte que, au repos, la pression ne s'exerce pas sur la partie centrale.

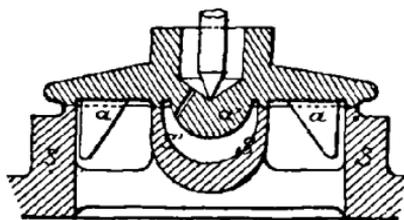


Fig. 125. — Soupape Codron.

Dès que le mouvement de levée commence, cette pression s'exerce en plus sur cette partie, et le surcroît de pression qui en résulte fait monter le clapet plus haut que dans le cas d'une soupape ordinaire de même surface.

¹ E. SAUVAGE. *La machine à vapeur*, vol. II, page 490. Béranger, éditeur.

La soupape *Maurel, Truel et Cie* (fig. 126), qui a pour but de soustraire le clapet régulateur à l'influence du courant de vapeur, se compose, d'une part, d'une tige régulatrice T, dont une partie à section triangulaire se trouve entre deux autres *c, c'* à section circulaire, et, d'autre part, d'un piston obturateur *o* qui ouvre et ferme le conduit d'évacuation de la vapeur.

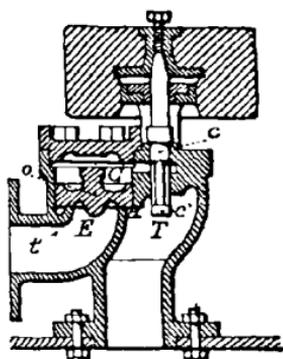


Fig. 126.
Soupape Maurel, Truel et Cie.

La tige T reçoit la pression de la vapeur, elle est équilibrée à l'extérieur comme d'ordinaire. En temps normal, la chambre C

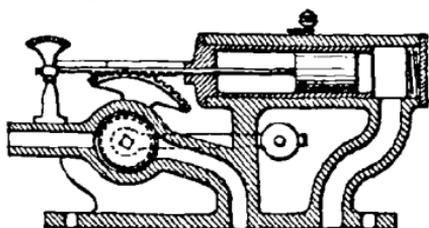


Fig. 127.
Soupape Castelnau.

est remplie de vapeur à la pression de la chaudière.

Le piston *o* est soumis : 1° de haut en bas, à la pression de la vapeur dans C ; 2° de bas en haut, à cette même pression mais ne s'exerçant que sur l'espace annulaire *a* et à la pression atmosphérique sur la surface correspondant au tuyau d'évacuation *t*. Le piston reste donc appliqué sur E ; quand la pression atteint celle du timbre, *c c'* se soulève comme une soupape ordinaire, *c'* vient fermer la communication entre la chaudière et la chambre C, pendant que *c* sortant de sa douille permet à la vapeur de cette chambre de s'échapper à l'extérieur. Le piston *o*, n'étant plus soumis qu'à la pression de la vapeur s'exer-

çant sur l'espace annulaire, se soulève, et la vapeur s'échappe par le tuyau *t*.

La *soupape Castelnau* est organisée de manière à donner un orifice d'écoulement variable à la vapeur (fig. 127).

L'ouverture progressive de cet orifice d'écoulement est assurée par un moteur équilibré indépendant, n'obéissant qu'à la pression de la vapeur dans la chaudière et capable, par le réglage d'un contrepoids, de ne produire son action qu'au moment précis où la pression de la vapeur dépasse celle du timbre.

Le moteur est constitué par un cylindre dans lequel se meut un piston soumis constamment à la pression de la vapeur sur une de ses faces. Un contrepoids, solidaire d'un arc denté engrenant avec une crémaillère formant tige du piston, maintient ce dernier à fond de course en temps normal. L'axe de l'arc denté commande un robinet à boisseau, à large ouverture, placé sur le trajet d'un tuyau d'évacuation greffé sur la chaudière.

Lorsque la pression devient trop forte, le piston se déplace, entraînant par sa tige crémaillère le mouvement de rotation de l'arc denté, malgré l'action du contrepoids. Le robinet s'ouvre et la vapeur peut s'échapper.

150. Clapets automatiques de retenue de vapeur.

— Lorsque plusieurs générateurs sont greffés sur une même conduite, une rupture, survenant sur la tuyauterie qui réunit l'une quelconque des chaudières avec la conduite commune, pourrait avoir pour conséquence de vider, non seulement cette chaudière, mais aussi toutes celles qui communiquent avec elle. Cet accident qui aurait les plus graves conséquences est empêché par l'action d'un clapet

qui ferme automatiquement la communication de chaque chaudière avec la conduite rompue (fig. 128).

L'appareil de ce genre le plus répandu est constitué par un boulet de poids convenable (*clapet ou boulet Labeyrie*) (fig. 129),

contenu dans un épanouissement spécial de la conduite qui lui sert de logement. Il repose sur une calotte sphérique dont la hauteur par rapport au centre du tuyau est réglable de l'extérieur.

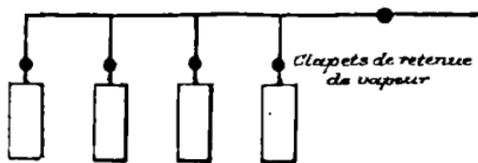


Fig. 128. — Position des clapets automatiques de retenue de vapeur.

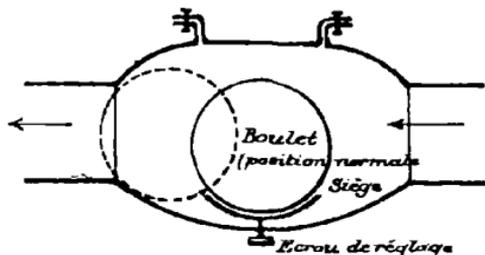


Fig. 129. — Clapet Labeyrie.

Lorsque la vitesse de la vapeur augmente par suite d'une rupture ou pour toute autre cause, le boulet s'appuie contre l'ouverture et la ferme.

La sensibilité du clapet se règle en agissant sur le poids de grenaille contenu dans le boulet, et aussi en élevant plus ou moins son siège.

Dans d'autres systèmes, l'augmentation de vitesse de la vapeur produit le mouvement d'une soupape qui remplit le même rôle que le boulet du dispositif ci-dessus.

Le *clapet double système Carette* (fig. 130) est dans ce cas ; il est formé de deux disques tronconiques fixés sur une même tige cylindrique glissant dans l'axe du tuyau

de vapeur à l'intérieur de deux guides rattachés aux sièges annulaires des clapets.

Une bielle à fourche est placée entre les deux clapets.

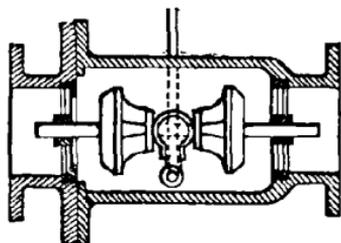


Fig. 130. — Clapet Carette.

Elle peut osciller autour d'un axe qui se prolonge à l'extérieur en passant dans un presse-étoupe.

Cet axe porte un levier pendule qui maintient les clapets dans leur position moyenne.

En faisant varier la position de calage du levier pendule et son poids, on peut donner telle sensibilité que l'on veut à l'appareil.

Dans le système *Pasquier*, l'appareil est constitué par une soupape maintenue ouverte par un contrepoids extérieur et flottant dans le courant de vapeur.

Lorsqu'une rupture de la conduite se produit ou lorsque la vitesse de la vapeur dépasse, pour une raison quelconque, la valeur pour laquelle l'équilibre est réglé, la soupape est entraînée par la vapeur et vient s'appliquer sur son siège, en fermant la communication avec la chaudière.

MM. Muller et Roger construisent un clapet double d'un système analogue au précédent, mais opérant la fermeture, aussi bien en cas de rupture de la conduite en aval de l'appareil, qu'en cas d'explosion au générateur en amont.

L'appareil est organisé, dans certains modèles, pour tenir lieu en outre de robinet de prise de vapeur.

Dans ces clapets de fermeture automatique, c'est le choc de la vapeur qui fait fonctionner l'appareil ; leur

sensibilité serait variable avec la pression si leur organisation ne permettait de leur donner, par réglage, la sensibilité voulue.

Certains types de clapets comportent une chambre de vapeur placée au-dessous de la soupape de fermeture. Lorsqu'une chute brusque de pression se produit dans la conduite, la vapeur de cette chambre se dilate et la fermeture s'effectue.

Dans d'autres, la vapeur de la chaudière agit sur la soupape de fermeture par l'intermédiaire d'une tuyauterie spéciale et, lorsqu'une dépression se produit sur l'une des faces de cette soupape, la pression de la chaudière, en s'exerçant sur l'autre, effectue la fermeture.

Tous ces clapets ont une sensibilité variable suivant le mode d'action de la vapeur, ou l'organisation propre de l'appareil ; mais, comme cette sensibilité est réglable, il est possible d'obtenir un bon fonctionnement dans tous les cas, lorsqu'il s'agit de conduites desservies par une seule chaudière.

Cependant, dans le cas d'une conduite recevant la vapeur d'un grand nombre de chaudières, le fonctionnement si-

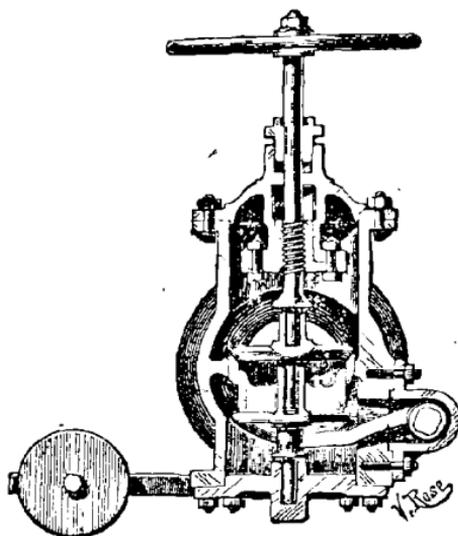


Fig. 131. — Robinet à clapet.

multané de tous les clapets n'est pas absolument sûr, et il est prudent d'installer non seulement un clapet par chaudière, comme le prescrit le règlement, sur la conduite qui la réunit au collecteur principal, mais aussi de pourvoir la conduite à protéger d'un clapet individuel réglé au degré de sensibilité maximum.

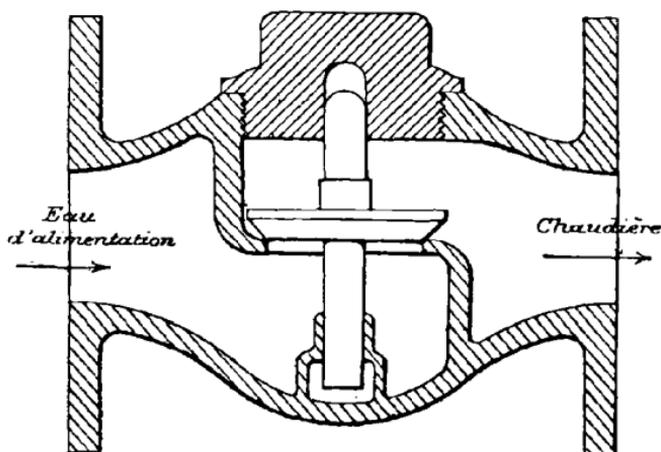


Fig. 132. — Clapet d'alimentation Lethuillier et Pinel.

151. Clapets automatiques d'eau d'alimentation. —

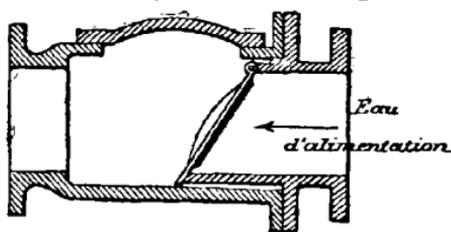


Fig. 133. — Clapet d'alimentation Herdevin.

Ces clapets sont placés à la jonction du tuyau d'alimentation et du canal d'entrée dans la chaudière.

Les types de clapets d'alimentation sont très nombreux (fig. 132-133), ils se soulèvent sous l'effet de la pression du courant d'eau envoyé par les appareils alimentaires.

Ils se ferment automatiquement sous l'action de la pression qui s'exerce à l'intérieur de la chaudière, lorsque cette pression n'est plus équilibrée par celle du courant d'eau d'alimentation.

Robinets de prise et d'arrêt de vapeur. —

Les robinets de vapeur doivent être organisés de manière que la fermeture et l'ouverture soient progressives afin d'éviter les chocs qui se produiraient si les ouvertures ou les fermetures étaient trop brusques.

Les figures 134 et 135 représentent des vannes de prise de vapeur basées sur ce principe.

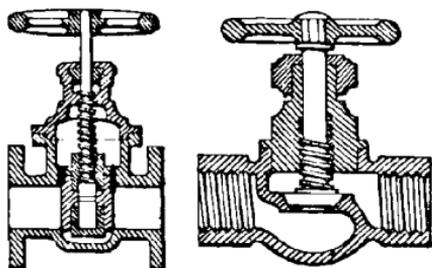


Fig. 134-135. — Vannes de prise de vapeur.

CHAPITRE XXIV

CONDUITES DE VAPEUR

152. **Organisation des conduites de vapeur.** — Les conduites de vapeur sont constituées par des tuyaux en fonte, en acier ou en cuivre réunis par des joints. En général, on emploie la fonte pour les parties verticales parce qu'elles n'ont pas à travailler à la flexion, le cuivre et l'acier pour les parties horizontales exposées à des efforts de flexion. le cuivre pour les grands diamètres et les pressions relativement peu élevées, l'acier pour les petits diamètres et les hautes pressions.

L'emploi des tuyaux en acier se répand de plus en plus à bord des navires de guerre et de commerce.

Les joints sont au mastic au minium, avec interposition de plomb.

On emploie aussi les joints à bagues biconiques en acier.

A bord des cuirassés, les brides des tuyaux en acier sont quelquefois rivées.

La conduite est posée sur des supports à galets, elle est butée de distance en distance et, pour lui permettre de supporter les dilatations et les contractions auxquelles elle est soumise, on place entre deux butées consécutives un tuyau en col de cygne.

Quelquefois la dilatation se fait sur un presse-étoupes.

Les conduites de vapeur sont entourées de calorifuge.

On emploie comme calorifuge :
le feutre en feuilles et en bandes ;
le liège en agglomérés ;
le crin ;
le bois en lames ;
l'amiante ;
le carton plissé et silicaté.

Malgré les précautions employées pour éviter les pertes de chaleur, des condensations se produisent toujours dans les conduites ¹.

La présence de cette eau pourrait donner lieu à des coups d'eau : Il résulte, en effet, d'expériences faites sur des conduites de vapeur contenant dans leurs parties basses une certaine quantité d'eau, que toute tuyauterie permettant à l'eau de s'accumuler est dangereuse.

Cet accident peut s'expliquer de la manière suivante : à l'arrivée de la vapeur dans une telle tuyauterie, il se produit une condensation brusque de la vapeur contenue dans la conduite. Une dépression se produit ; elle a pour effet de mettre cette eau en mouvement, et de former un *piston d'eau* occupant presque la section totale du tuyau ; ce piston d'eau est chassé par la vapeur avec la vitesse de celle-ci.

Ces pistons d'eau, ne trouvant aucun matelas élastique sur leur passage pour les arrêter, agissent par choc sur toutes les parties de la conduite qui se trouvent sur leur trajet.

Ces chocs peuvent entraîner la rupture de la conduite et avoir des effets désastreux.

¹ On a trouvé par l'expérience que le rayonnement de 1 mètre carré de tôles nues donnait lieu à la condensation de 1 kilogramme de vapeur à 100° par heure. Les tôles couvertes de calorifuge donnent lieu à une condensation moitié moindre.

Bon nombre d'accidents survenus à des conduites de vapeur peuvent être attribués à cette cause.

On a proposé d'en atténuer les effets en remplaçant les vannes en fonte par des vannes en bronze moins susceptibles de se rompre sous l'influence des chocs, mais ce ne sont que des palliatifs insuffisants. Le véritable remède réside dans une organisation rationnelle des conduites.

On reviendra plus loin sur cette question à l'article « coups d'eau dans les conduites ».

153. Précautions à prendre dans l'organisation des conduites de vapeur. — Dans l'organisation des conduites de vapeur il est essentiel d'éviter :

- a) les parties horizontales où l'eau peut s'accumuler ;
- b) les coudes brusques où l'accident du piston d'eau peut produire des dislocations ou des ruptures de la tuyauterie ;
- c) les pièces en fonte, vannes, etc., qui résistent mal aux chocs du piston d'eau.

La conduite doit donc être inclinée. — Quelquefois on l'incline dans le sens de la circulation de la vapeur de manière que, le courant de vapeur aidant, les eaux condensées puissent se réunir en des points particuliers de la conduite où sont placés des « séparateurs » munis de « purgeurs » destinés à en assurer l'évacuation à l'extérieur.

On les incline aussi du côté de la chaudière de manière à permettre à l'eau condensée de s'écouler dans celle-ci.

La conduite doit toujours être purgée. — A cet effet, on place aux points bas des conduites des séparateurs d'eau et de vapeur et des purgeurs automatiques.

Les mêmes mesures sont prises à l'arrivée à la machine

à vapeur dans le but de n'y faire entrer que de la vapeur sèche.

La sécurité donnée par les purgeurs automatiques est encore augmentée par les purgeurs à main, installés le long de la conduite, et permettant de la débarrasser de l'eau qu'elle pourrait contenir.

154. Purgeurs automatiques. — Le principe des séparateurs d'eau et de vapeur a été donné ci-dessus à l'occasion de l'étude du séchage de la vapeur. Les purgeurs automatiques sont, comme leur nom l'indique, des appareils destinés à débarrasser, automatiquement, les séparateurs, ou les conduites, de l'eau qu'ils contiennent. Les systèmes de purgeurs sont nombreux, les modèles les plus répandus peuvent se ranger dans deux classes principales :

- les purgeurs à flotteur ;
- les purgeurs à dilatation.

Purgeurs à flotteur. — Dans ce genre d'appareil, (fig. 136) une soupape, commandée mécaniquement par un flotteur, s'ouvre lorsque l'eau atteint un certain niveau dans le purgeur.

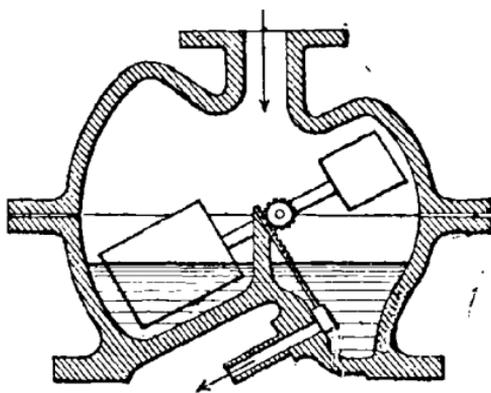


Fig. 136. — Purgeur à flotteur.

Purgeurs à dilatation. — La vapeur étant plus chaude

que l'eau assure la fermeture lorsqu'il n'y a pas d'eau dans l'appareil. Lorsque l'eau atteint une certaine hauteur, elle refroidit assez la tige de commande de la soupape pour que cette

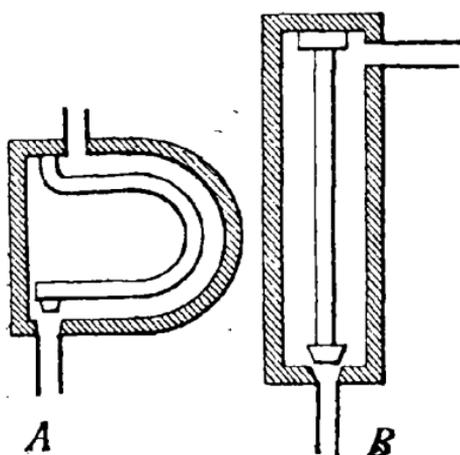


Fig. 137. — Purgeurs à dilatation.

tige, en se raccourcissant, écarte la soupape de son siège et ouvre la communication du purgeur avec l'extérieur (fig. 137).

Quelquefois, la tige est creuse et elle contient une petite quantité d'un liquide, alcool ou pétrole, bouillant à la température de la vapeur et restant liquide à la

température de l'eau.

Dès que l'eau est évacuée, la vapeur qui entoure le tube le réchauffe et met le liquide en ébullition. Il en résulte une pression intérieure qui redresse le tube et applique le clapet sur son siège.



Fig. 138. — Purgeur Geipel à dilatation.

Dans le purgeur Geipel (fig. 138), le mouvement de

la soupape résulte du mouvement du sommet d'une sorte de triangle très allongé constitué par des tubes de métaux différents, fer et de cuivre par exemple.

Suivant que ce double tube est rempli de vapeur ou d'eau, le sommet du triangle qu'il forme a une position ou une autre, et il ferme ou il ouvre la soupape placée en ce point. Lorsqu'il est plein de vapeur, l'ouverture est fermée; lorsqu'il est au contraire plein d'eau, la soupape du purgeur est ouverte.

155. Coups d'eau dans les conduites de vapeur. — M. Longridge ¹, dans son rapport à la « British Engine Boiler and electrical Insurance Co », signale un certain nombre de coups d'eau survenus dans des tuyauteries de vapeur établies d'une façon défectueuse.

Dans le cas figuré planche 139 A, l'explosion du tuyau (75 mètres de longueur) se produisit au point indiqué lorsqu'on ouvrit la vanne *a*. De l'eau s'était accumulée dans la partie basse de la tuyauterie pendant l'arrêt, avant la fermeture de *a*, *b*, *c*. Le purgeur encrassé, n'avait pas fonctionné.

Il eût été prudent de ne pas compter exclusivement sur le purgeur pour assurer l'évacuation de toute l'eau déposée dans une conduite d'aussi grande longueur. Enfin, il eût été préférable d'organiser la conduite comme il est indiqué (fig. A'), c'est-à-dire avec une colonne verticale formant séparateur à chacun des coudes de la partie en contre-bas, et portant au point le plus bas un purgeur automatique, doublé d'un robinet de purge manœuvrable à la main.

¹ *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, novembre 1908.

Dans le cas figuré planche 139 B, l'eau s'était accumulée, par suite d'un repos de deux jours, dans la partie basse de la tuyauterie et, malgré le purgeur, l'explosion

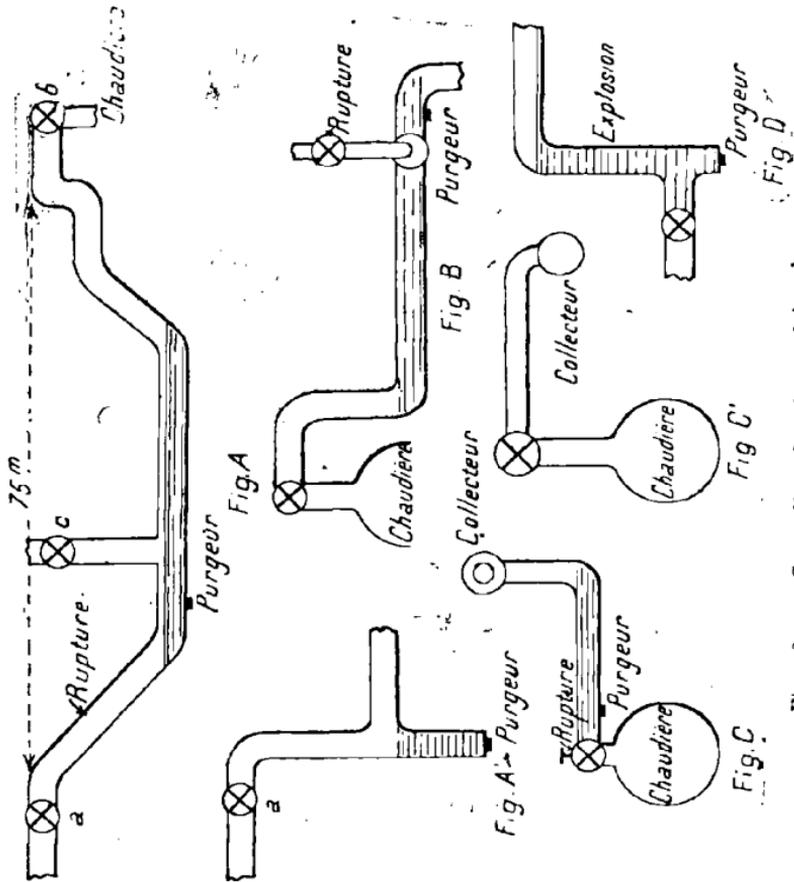


Fig. 139. — Coups d'eau dans les conduites de vapeur.

s'est produite, à l'endroit indiqué, à l'ouverture de la vanne d'admission au moteur, la prise de vapeur à la chaudière étant ouverte. Cette explosion peut être attri-

buée aux mêmes causes que celle du cas précédent, et elle aurait été vraisemblablement évitée si on avait pris, lors de l'installation, les précautions ci-dessus indiquées.

Dans le cas figuré planche 139 C, l'eau s'était accumulée, pendant le nettoyage de la chaudière, dans la conduite horizontale, malgré une légère ouverture du purgeur. La rupture s'est produite au moment de l'ouverture brusque du purgeur, parce qu'on n'avait pas fermé les valves raccordant la tuyauterie à toutes les chaudières.

Dans le cas où plusieurs chaudières sont branchées sur la même conduite, il faut disposer la tuyauterie comme il est indiqué figure C', ou, si la hauteur du plafond ne le permet pas, drainer tous les branchements par de gros tuyaux, sans robinets ni valves, aboutissant à un collecteur transversal relié à chacune des chaudières par une vanne. De cette manière, en cas d'arrêt de l'une des chaudières, son branchement peut se vider dans les autres.

Dans le cas indiqué figure D, on avait laissé l'eau s'accumuler, par condensation de vapeur, dans une tuyauterie de 230 à 150 millimètres de diamètre et de 27 mètres de long, non protégée, en laissant fermés la vanne et le purgeur.

A l'ouverture de la vanne, le tuyau vertical fit explosion. Pour éviter cet accident, il aurait fallu tout d'abord fermer la vanne de la chaudière, puis purger la conduite en ouvrant le purgeur en grand. Un robinet indicateur ou un flotteur aurait averti du remplissage du tuyau vertical.

Dans le cas figuré en E, les robinets de la chaudière et du purgeur étant fermés, une rupture s'est produite à

l'ouverture du purgeur parce qu'on avait négligé de

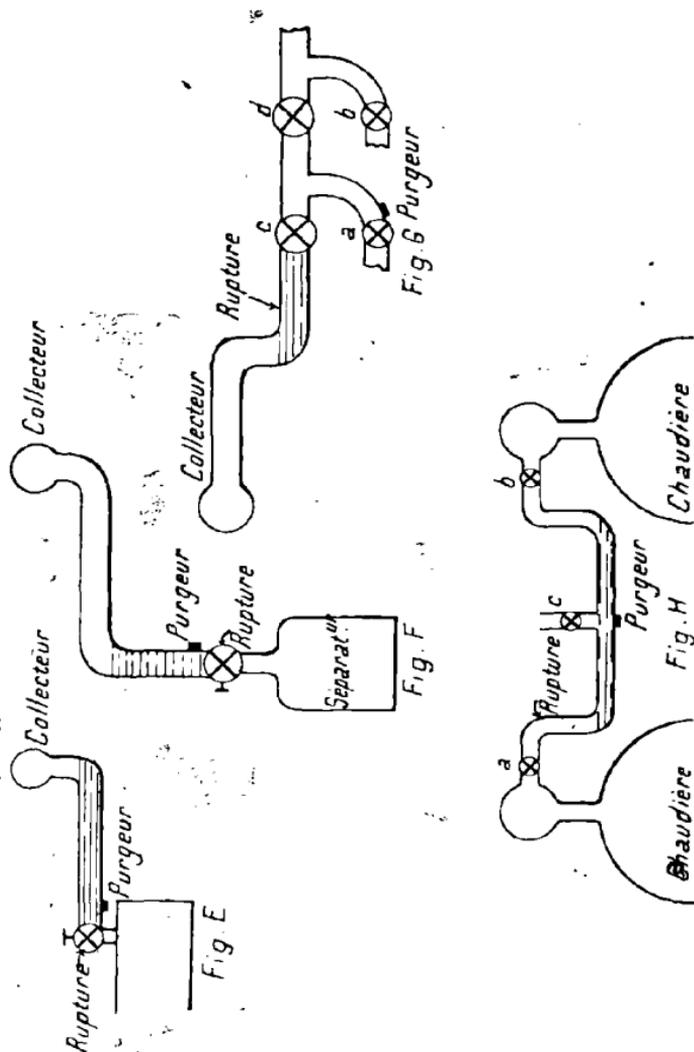


Fig. 130bis. — Coups d'eau dans les conduites de vapeur.

couper la vapeur du collecteur. Il aurait fallu relever le

purgeur aux autres chaudières, lors de l'installation de la tuyauterie.

La figure F de la planche 139 bis représente une colonne montante de 76 millimètres de diamètre remplie de vapeur condensée.

Après avoir ouvert le purgeur, de manière que le niveau descendit jusqu'au sommet de la colonne montante, on ouvrit la vanne de communication avec le séparateur. Une rupture se produisit à cette vanne. L'accident ne se serait vraisemblablement pas produit si la vanne avait été placée juste au-dessous du collecteur.

La figure G montre une canalisation dans laquelle *c* et *d* étant ouverts, ainsi que *a*, une rupture s'est produite au moment de la fermeture de *d*. L'accident eût été évité si l'on avait fermé la communication sur le collecteur supérieur avant d'ouvrir *c*, ou bien si l'installation avait comporté une colonne verticale formant puisard, avec purgeur, robinet avertisseur ou flotteur en amont de *c*.

Dans le cas figuré en H, la tuyauterie réunissant deux chaudières à une machine est fermée, mais il existe des fuites aux vannes *a* et *b*, voisines des chaudières. Une rupture s'est produite au moment de l'ouverture de la vanne *b*, le purgeur à main étant lui-même ouvert.

Les fuites s'étaient condensées, la tuyauterie en contre-bas était pleine d'eau, l'ouverture simultanée de l'une des vannes et du purgeur a occasionné un coup d'eau qui ne se serait pas produit si, au point le plus bas de la tuyauterie, on avait installé un séparateur muni d'un bon purgeur automatique.

Ces divers accidents montrent qu'il est dangereux de laisser pénétrer brusquement la vapeur dans une conduite

mal purgée et, en outre, qu'il est imprudent de purger un tuyau horizontal, sans avoir tout d'abord fermé sa communication avec la vapeur.

Les tuyaux verticaux, formant séparateurs, n'ont pas cet inconvénient et peuvent être purgés en charge.

156. Calcul d'une conduite de vapeur ayant un débit donné. — La section d'une conduite doit être telle que la vitesse de la vapeur, en admettant que l'écoulement se fasse à vitesse constante, soit comprise entre 15 et 20 mètres par seconde.

Si Q est le poids de vapeur en kilogrammes à débiter à l'heure, la section sera donnée par l'expression :

$$\frac{Q}{V \times \delta \times 3600} = \Omega$$

Ω , section cherchée en mètres carrés.

V , vitesse d'écoulement admise en mètres par seconde.

δ , poids du mètre cube de vapeur à la pression de marche.

Application. — Quelle doit être la section d'une conduite alimentant une machine à vapeur de 1 000 chevaux indiqués.

La pression effective à la chaudière est de 7 kilogrammes par centimètre carré, et le poids spécifique δ correspondant est égal à 4^{kg}, 133, on admet que la dépense par cheval-heure indiqué est de 10 kilogrammes de vapeur et que la vitesse d'écoulement est de 15 mètres par seconde.

Le poids de vapeur à recevoir par heure à la machine, est . . .	$1\ 000 \times 10 =$	10 000 kg.
La perte par condensation dans la conduite est environ 6 % (admise) . . .		600 »
Le poids total de vapeur à débiter est . . .		<hr/> 10 600 kg.

La section intérieure de la conduite est :

$$\Omega = \frac{Q}{3600 \delta V} = \frac{10600}{3600 \times 4133 \times 15} = 0^{\text{m}^2}, 0475.$$

Le diamètre s'en déduit : $D = 246$ millimètres.

Remarque. — Si la pression effective avait été de 4 kilogrammes par centimètre carré, Ω aurait eu une valeur double environ.

Cela montre l'intérêt des hautes pressions à ce point de vue, car les canalisations à haute pression sont d'installation plus coûteuse que les canalisations à moyenne (6 à 8 kilogrammes) et à basse pression (3 à 5 kilogrammes).

157. Perte de charge due au frottement. — La perte de pression, en kilogrammes par mètre carré, est donnée, pour une conduite horizontale, par l'expression :

$$p = 0,0015 \delta \frac{L}{D} U^3$$

dans laquelle L et D désignent la longueur et le diamètre de la conduite, δ le poids spécifique de la vapeur, U sa vitesse.

La vitesse à l'origine de la conduite n'est pas rigoureusement la même qu'à l'arrivée, on peut cependant admettre U constant.

δ est affecté par le titre de la vapeur; plus ce dernier diminue, plus le frottement devient considérable à égalité de vitesse.

Application à la conduite ci-dessus :

Pour $L = 200$ mètres, quelle sera la pression effective à la machine à vapeur ?

$$p = 0,0015 \times 4,133 \times \frac{200}{0,246} \times 15^3 = 1130 \text{ kilogrammes.}$$

La pression absolue de la machine sera :

$$80000 - 1130 = 78870 \text{ par mètre carré}$$

ou :

$$\begin{array}{ll} 7^{kg},88 \text{ par centimètre carré} & \text{pression absolue} \\ 6^{kg},88 \text{ par centimètre carré} & \text{pression effective} \end{array}$$

Remarque. — La chute de pression est faible, même pour une longueur de conduite relativement grande, lorsque la section est constante et lorsque la conduite est rectiligne ; il n'en est plus de même lorsque la conduite présente des coudes ou des étranglements.

FORMULE RELATIVE AU CALCUL DU DIAMÈTRE D'UNE CONDUITE DONNANT LIEU A UNE PERTE DE CHARGE DONNÉE ¹

D'après une série d'essais exécutés à Anzin, M. Ledoux propose, pour déterminer le diamètre D (en mètres) d'une conduite horizontale de longueur L (en mètres) devant débiter M_0 kilogrammes de vapeur sèche par seconde reçue sous la pression p_0 (en kilogrammes par centimètre carré) et fournie à l'autre extrémité sous la pression p , la formule approximative :

$$D = 0,057 \sqrt[5]{\frac{Lm_0^2}{p_0^{1,94} - p^{1,94}}}$$

Cette formule est approchée par excès.

¹E. SAUVAGE. *Machine à vapeur*, II, p. 495. Béranger.

TITRE III

CONDENSEURS

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR LA CONDENSATION CLASSIFICATION DES CONDENSEURS

158. **Considérations générales.** ¹ — La vapeur qui évolue dans une machine thermique, machine à piston ou turbine, travaille entre deux températures et, par suite, deux pressions, les température et pression de la source chaude et de la source froide, et l'utilisation des calories qu'elle contient est d'autant meilleure que l'écart qui existe entre ces températures, ou ces pressions, est plus grand.

Le but de la condensation de la vapeur est d'augmenter cet écart en diminuant la température et la pression de la source froide.

Si la vapeur d'une machine à piston ou d'une turbine s'échappe directement dans l'atmosphère, sa température est celle qui correspond à la pression atmosphérique, c'est-à-dire 100° environ. Sa pression absolue, appelée sa contre-pression, est de une atmosphère et, si on tient compte des pertes de charge dans la tuyauterie, elle atteint 1^a,2 à 1^a,3.

¹ Voir E. JOUGUET, E. S. *Moteurs thermiques*, p. 161.

Si la vapeur, au lieu de s'échapper directement dans l'atmosphère, est envoyée dans un récipient où règne une température inférieure à 100° , 40° par exemple, elle se condense en partie pour prendre une pression absolue égale à la tension de la vapeur à cette température, c'est-à-dire, $31^{\text{mm}},5$ de mercure dans le cas considéré.

La quantité de vapeur condensée est d'autant plus grande que cette tension et, par suite, la température du récipient est plus faible.

La vapeur, au lieu de travailler entre la température de la chaudière et 100° , travaille dans le cas actuel entre la même température de la source chaude et 40° , c'est-à-dire que l'écart de température est supérieur de 60° à l'écart correspondant à la marche à échappement libre.

159. **Classification des condenseurs.** — Plusieurs moyens peuvent être employés pour abaisser la température et la pression de la source froide et produire la condensation de la vapeur.

1° On peut opérer par mélange de la vapeur avec de l'eau froide injectée dans le récipient où elle se rend à sa sortie de la machine thermique. Ce récipient porte dans ce cas le nom de *condenseur par mélange*, qu'on appelle aussi quelquefois condenseur à injection. Une *pompe à air* évacue au dehors l'eau injectée et l'eau provenant de la condensation.

2° Le récipient dans lequel la vapeur est envoyée contient un très grand nombre de tubes parcourus par un courant d'eau froide fourni par une *pompe de circulation*.

Ce type de condenseur est appelé *condenseur par surface*. Il comporte une variante correspondant au cas où le refroidissement des tubes entourés par la vapeur est pro-

duit par un courant d'air. Ce genre de condenseur porte le nom d'*aéro-condenseur*. Une pompe spéciale évacue l'eau condensée au dehors.

3° Le récipient qui reçoit la vapeur peut être refroidi par l'évaporation d'une certaine quantité d'eau. Ce genre de condenseur est appelé *condenseur vaporisateur*.

4° Certains condenseurs sont basés sur l'entraînement des fluides, ce sont les *éjecto-condenseurs*.

Les condenseurs à mélange et à surface sont ceux de ces appareils qui ont été le plus employés jusqu'ici ; les condenseurs à mélange dans la majorité des cas, les condenseurs à surface lorsqu'il est nécessaire de recueillir l'eau qui a travaillé sous forme de vapeur dans la machine.

Depuis que l'on emploie la turbine à vapeur, le condenseur à surface tend à supplanter le condenseur à mélange dans ce genre d'application. Cette préférence se justifie par le vide plus parfait qu'il donne.

C'est, en effet, à la possibilité de pousser très loin la détente de la vapeur dans les turbines, jointe à l'accroissement de leur rendement organique lorsque la pression et, par suite, la densité du fluide diminuent autour des aubes de sortie, que ces machines doivent d'avoir un rendement aussi élevé que celui des meilleures machines à piston ¹.

Cette nécessité d'obtenir de bons vides a conduit à perfectionner le condenseur à mélange : la *pompe à air*, appelée pompe à vide humide, qui évacue au dehors l'eau ayant servi à la condensation, et l'air qui s'échappe de cette eau sous l'effet du vide du condenseur est remplacée, dans les condenseurs à mélange affectés au service

¹ Maurice LEBLANC, Note sur la condensation. *La lumière électrique*, n° du 13 juin 1908.

des turbines, par deux pompes distinctes : une pompe évacuant l'eau, ou pompe à vide humide, et une pompe enlevant l'air.

Le *condenseur barométrique*, qui constitue une variante du condenseur à mélange, possède aussi ces deux pompes.

Malgré ces perfectionnements, le condenseur à mélange ou même le condenseur à surface ne peuvent produire le vide qui serait nécessaire lorsqu'on applique la condensation aux turbines. M. Leblanc démontre, en effet, que le rendement volumétrique de la pompe à air¹ tend rapidement vers zéro lorsque le vide augmente dans le condenseur. Ces pompes elles-mêmes ne permettent d'obtenir les vides élevés nécessaires aux turbines que si les rentrées d'air dans le condenseur sont pratiquement nulles, et si elles ont reçu des dispositions spéciales, généralement assez compliquées².

M. Leblanc supplée à l'insuffisance des pompes à piston pour l'évacuation de l'air en employant une trompe à eau spéciale dans laquelle les bulles d'air sont enrobées dans de minces lames d'eau créées dans une turbine hydraulique à injection partielle, travaillant comme une pompe en tournant à contre-sens.

160. Utilité de la condensation. — La puissance que peut fournir une machine donnée est plus grande lorsqu'elle marche à condensation que lorsqu'elle marche à échappement à l'air libre.

Considérons, en effet, le diagramme théorique pres-

¹ Le rendement volumétrique d'une pompe à air est égal au rapport : volume d'air aspiré (ramené à la température ambiante et à la pression atmosphérique), volume total du cylindre.

² Maurice LEBLANC. Note sur la condensation. *La lumière électrique*, n° du 20 juin 1908, page 359.

sions-volumes d'une machine à piston dans le cylindre de laquelle se détend un volume CD de vapeur sous la pression absolue OC (fig. 140).

Soit AB la ligne atmosphérique, OA représente la pression d'une atmosphère.

La puissance de la machine fonctionnant à échappement à l'air libre est proportionnelle à l'aire CDHA.

La puissance de la même machine fonctionnant à condensation, pour une même introduction CD, est proportionnelle à l'aire CDEFG.

Le rapport entre les deux puissances $\frac{P_c}{P_a}$, à condensation et à l'air libre est égal à :

$$1 + \frac{A_1FG}{CDEIA}$$

Il n'est égal à 1 que dans le cas où l'échappement se fait à l'air libre.

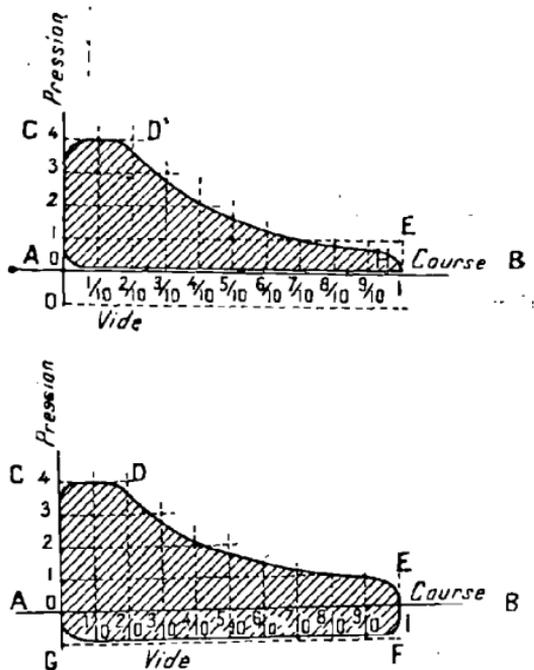


Fig 140. — Diagramme de machine à vapeur sans et avec condenseur.

Lorsqu'il se fait au condenseur, il est toujours plus grand que 1, et il est d'autant plus grand que l'aire $A 1 F G$ est elle-même plus grande, c'est-à-dire que $A G$, ou le vide au condenseur ¹, est plus grand, ou que l'aire $C D E H A$ est plus faible, c'est-à-dire que la pression d'admission est plus petite.

On en conclut que la condensation a pour effet d'augmenter la puissance qu'une machine est susceptible de donner en échappant à l'air libre; et, en outre, qu'elle s'applique plus utilement aux machines à basses pressions qu'aux machines à pressions élevées.

La condensation est économique au point de vue de la quantité de vapeur consommée par unité de puissance.

Si on compare, en effet, la quantité de vapeur nécessaire à la même machine pour fournir un cheval-heure indiqué au cylindre, suivant que l'échappement se fait à l'air libre ou au condenseur, on arrive à cette conclusion que l'économie en faveur de la marche à condensation atteint 36 % lorsqu'on emploie de la vapeur à 4 kilogrammes par centimètre carré, et de 7 % lorsque la pression est de 10 kilogrammes par centimètre carré.

¹ Le vide ou degré de vide au condenseur $A G$, est la différence entre la pression atmosphérique du moment $O A$ et la pression absolue $O G$ au condenseur. Ainsi : dire que le vide au condenseur est de 60 centimètres, signifie que la pression absolue au condenseur est égale à la pression barométrique du moment, exprimée en centimètres de mercure, diminuée de 60 centimètres.

Le Congrès de mécanique de 1900, a émis le vœu que les pressions absolues au condenseur soient mesurées directement par un manomètre gradué en grammes par centimètre carré. On a l'habitude de les évaluer, maintenant, en colonne de mercure exprimée en millimètres, ou encore en pour cent de la pression atmosphérique. On dira, par exemple, un vide de 90 %, c'est-à-dire de 0,1 par centimètre carré.

L'économie diminue d'une façon notable lorsque la pression d'admission augmente.

Ce résultat, confirmé par l'expérience, explique pourquoi les machines à haute pression, telles que les locomotives, par exemple, n'emploient pas la condensation.

L'intérêt de la condensation n'est plus aussi évident si l'on se place au point de vue des frais de premier établissement, c'est-à-dire du prix de revient du cheval installé, car il faut nécessairement tenir compte du prix des appareils accessoires, condenseurs, pompes, etc., et de leur installation.

Lorsque l'installation ne possède pas d'eau en quantité suffisante, le prix de revient du cheval-heure est augmenté du prix de l'eau de condensation, et bien que le cheval-heure exige une quantité de vapeur relativement faible, son prix de revient est élevé.

Ces considérations montrent que l'économie de vapeur résultant de la condensation est compensée parfois par une dépense supplémentaire incombant au condenseur proprement dit. C'est dans chaque cas une question d'espèce que l'on devra traiter en faisant intervenir tous les facteurs qui influent sur le prix de revient du cheval-heure : dépense de vapeur, amortissement de l'installation, dépense d'eau de condensation.

Dans certains cas, il sera plus avantageux de récupérer les calories que contient encore la vapeur d'échappement en faisant du réchauffage de l'eau d'alimentation que d'employer la condensation proprement dite. Cette préférence sera, en général, d'autant plus justifiée que la machine utilisera de la vapeur à plus haute pression.

CHAPITRE II

CONDENSEURS A MÉLANGE

161. **Organisation générale des condenseurs à mélange.** — Tout condenseur à mélange comprend un récipient cylindrique ou parallépipédique dans lequel se fait le mélange de la vapeur d'échappement et de l'eau qui en opère la condensation.

La tuyauterie est organisée de manière que le mélange soit aussi intime que possible : généralement la vapeur entre dans le condenseur par la partie inférieure de celui-ci, et l'eau, arrivant par la partie supérieure, tombe en pluie sur elle (fig. 141).

Le condenseur contient donc, à sa partie inférieure l'eau chaude ayant servi à la condensation, à laquelle s'est ajoutée la vapeur condensée ; dans la plus grande partie du condenseur, des gouttelettes d'eau entourées de la vapeur qui se condense à leur contact ; enfin, une certaine quantité d'air provenant de l'eau de condensation qui s'est dégagé sous l'effet du vide régnant dans l'appareil. A cet air s'ajoute celui qui entre par les joints ainsi que celui que contient la vapeur et qui vient de l'eau d'alimentation.

L'eau chaude est évacuée à l'extérieur du condenseur au moyen de pompes. Celles-ci expulsent en même temps par entraînement une petite quantité d'air ; on les appelle des « *pompes à air* ». Dans certains condenseurs elles font partie du condenseur proprement dit ; mais, le

plus souvent, elles sont séparées de celui-ci et forment un groupe à part, mû par la machine motrice elle-même, ou conduit par un moteur électrique.

Ces pompes évacuant à la fois l'eau et l'air, appelées pompe à *vide humide*, sont suffisantes pour donner un vide tel que celui qu'exigent les machines à vapeur à piston. Elles sont insuffisantes lorsqu'elles sont affectées à des condenseurs de turbines à vapeur.

Pour les applications aux turbines, il est indispensable d'ajouter à ces pompes à air, qui ne sont en définitive que des pompes à eau, de véritables pompes à air qui aspirent l'air dans la partie froide des condenseurs. Elles sont appelées des pompes à *vide sec* ou encore « à air sec ».

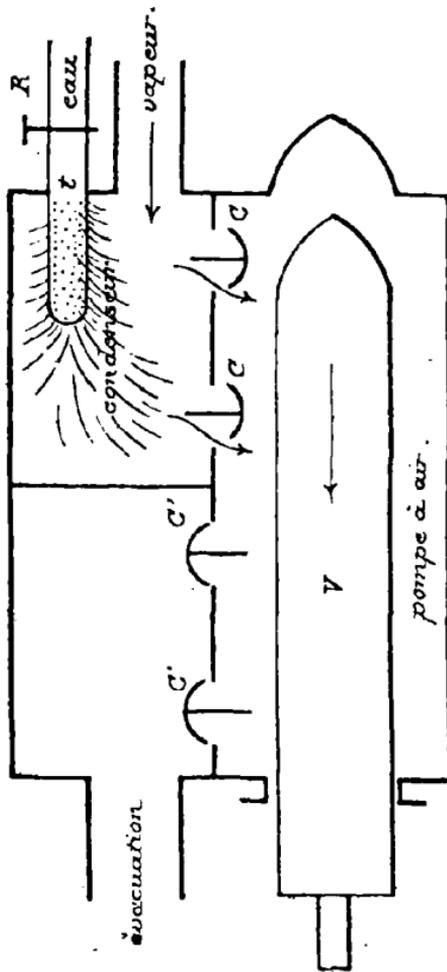


Fig. 141. — Figure schématique d'un condenseur à mélange.

162. Eau nécessaire pour condenser un kilogramme de vapeur d'échappement. — La vapeur qui arrive au condenseur contient encore une grande quantité de chaleur.

Un kilogramme de cette vapeur contient λ calories, moins celles qui correspondent au travail externe Apv' effectué, moins une faible partie de la chaleur interne totale $q + p$.

Cette quantité de chaleur pourrait donc se calculer en tirant les valeurs de λ , Apv' , q et p des tables de la vapeur d'eau saturée, et en admettant que la vapeur d'échappement contient encore toute sa chaleur interne p .

Mais, comme il s'agit de déterminer un élément qui intervient dans le calcul des pompes et des diverses parties des installations, il est préférable de déterminer cette quantité de chaleur en se basant sur le poids de vapeur consommée par cheval-heure indiqué au cylindre.

Si une machine consomme N kilogrammes de vapeur par cheval-heure, la quantité de chaleur qui correspond au travail effectué dans le cylindre par un kilogramme de cette vapeur est :

$$\frac{1}{N} \times \frac{75 \times 3600}{425}$$

La quantité de chaleur que fournit à l'eau de condensation un kilogramme de cette vapeur lorsqu'elle arrive dans un condenseur, où règne la température θ° , est :

$$\lambda - \theta = \frac{1}{N} \frac{75 \times 3600}{425} \text{ calories}$$

avec $\lambda = 606,5 + 0,305 t$, t étant la température centigrade de la vapeur à l'admission.

En admettant pour θ , t et N les valeurs :

$$\theta = 40^{\circ}$$

$$t = 150^{\circ}$$

$$N = 10^{\circ}$$

On trouve, pour la quantité de chaleur fournie par un kilogramme de vapeur d'échappement à l'eau de condensation, 550 calories environ.

Si l'eau injectée au condenseur est à 20° il faudra :

$$\frac{550}{\theta - 20} = \frac{550}{40 - 20} = 28 \text{ kilogrammes d'eau}$$

pour produire la condensation de 1 kilogramme de vapeur.

En général, l'eau de condensation est refroidie pour servir plusieurs fois à cette opération car, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, la quantité d'eau nécessaire à la condensation étant trois à quatre fois plus considérable que celle qui travaille dans la machine, son prix arriverait à élever notablement le prix du cheval-heure si on ne la récupérait pas. Aussi l'eau ainsi utilisée atteint-elle des températures supérieures à 20°. Il faut alors dépenser une très grande quantité d'eau pour assurer la condensation, et il convient par suite d'en tenir compte dans le calcul des pompes.

Pour une température d'eau d'injection atteignant 30°, il faudrait 55 litres d'eau pour condenser un kilogramme de vapeur.

163. Volume de la pompe à air d'un condenseur.

— Le volume à donner à la pompe à air d'un condenseur déterminé dépend du volume d'eau et d'air à évacuer par seconde.

Volume d'eau à évacuer par seconde. — Soient D la dépense de la machine considérée, en kilogrammes de vapeur par heure, et q le nombre de kilogrammes d'eau nécessaires pour condenser un kilogramme de vapeur.

Le nombre de kilogrammes d'eau à évacuer par kilogramme de vapeur condensée est $q + 1$.

Le volume d'eau à évacuer par seconde sera exprimé, en mètres cubes :

$$V = \frac{0,001(q + 1)D}{3600}.$$

En prenant pour q la valeur $q = 35$, exprimant la dépense D en fonction de la puissance P en chevaux, et admettant que le cheval-heure indiqué exige 10 kilogrammes de vapeur, on a :

$$V = \frac{0,001(35 + 1)10}{3600} = \frac{P}{10^4}.$$

La pompe à air d'une machine de 10 chevaux devra évacuer un litre d'eau à la seconde environ.

164. Volume d'air à évacuer par seconde. — L'eau à la pression atmosphérique et à la température de 15°, contient de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{20}$ de son volume d'air.

En introduisant V mètres cubes d'eau à la seconde dans un condenseur, on introduit en même temps $\frac{V}{15}$ mètres cubes d'air à la pression atmosphérique p_a .

La pression dans le condenseur étant celle qui corres-

pond à la température de 40° qui y règne, elle est de $\frac{p_a}{10}$ environ. Cet air occupe dans le condenseur le volume :

$$\frac{V}{15} \times \frac{p_a}{0,1 \times p_a} \times \frac{\left(1 + \frac{1}{273}\right) \times 40}{\left(1 + \frac{1}{273}\right) \times 15} = 0,725 V.$$

La pompe à air d'une machine de 10 chevaux ayant un litre d'eau à évacuer par seconde, aura en outre à évacuer 0^{lit},725 d'air dans le même temps.

On peut admettre que la pompe à air d'une machine de 10 chevaux devra évacuer deux litres d'eau et d'air par seconde.

Si l'eau d'injection était à une température supérieure 15°-20°, ce chiffre serait à augmenter ; il conviendrait de le doubler si cette eau était à la température de 30°, ainsi qu'on l'a montré plus haut page 387.

Lorsque les pompes à air sont verticales, on peut baser le calcul de leur volume sur le résultat ci-dessus. Si elles sont horizontales, l'évacuation de l'air est plus difficile, et il faut les calculer de manière qu'elles puissent évacuer 2^{lit},5 environ par seconde pour une puissance de 10 chevaux indiqués.

Le volume de la pompe à air est quelquefois exprimé en fonction du volume du cylindre à vapeur.

Lorsque les pompes sont verticales et à simple effet, le volume de la pompe à air est environ $\frac{1}{5}$ du volume du cylindre.

Lorsqu'elles sont horizontales à double effet, il est environ le $\frac{1}{8}$ du volume du cylindre.

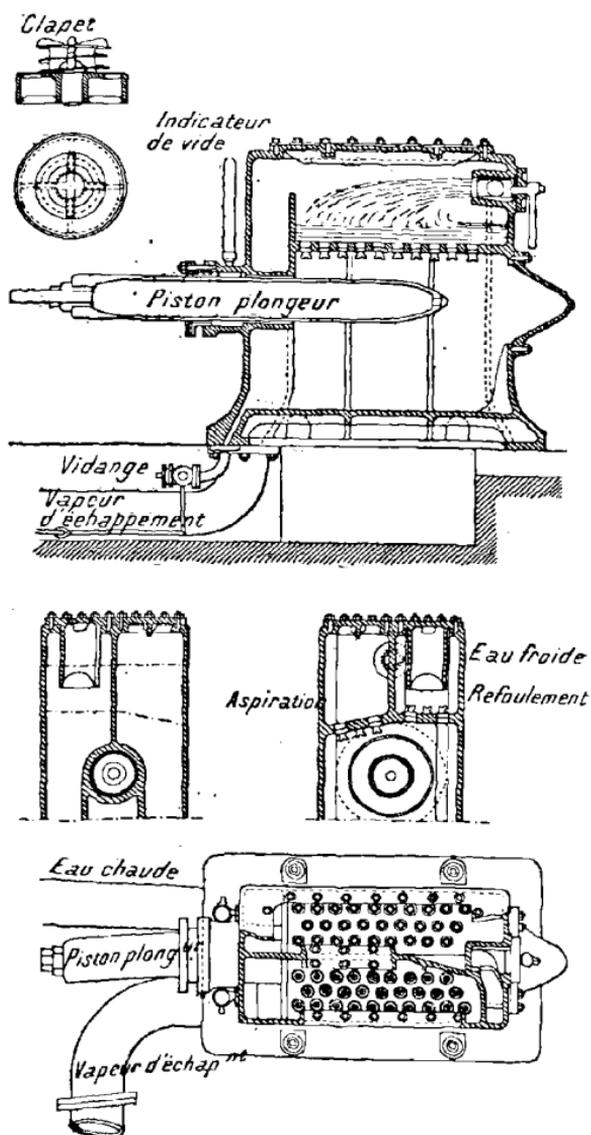


Fig. 142. — Condenseur Schneider et Cie.

165. Organisation des pompes à air — dites pompes à vide humide. — Les pompes à air sont généralement à piston plongeur ; elles comprennent des clapets d'aspiration et des clapets de refoulement.

Ces clapets sont, en général, en caoutchouc.

Dans les condenseurs du type « Creusot » (fig. 142), les clapets sont métalliques de faibles dimensions, et ils sont maintenus sur leur siège par des ressorts. La figure montre suffisamment comment fonctionne l'appareil.

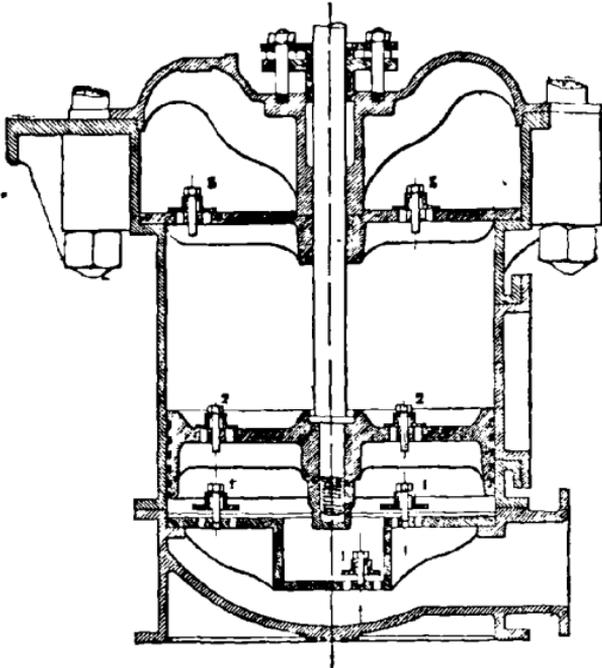


Fig 143. — Pompe à vide humide.

Dans la pompe à vide humide représentée figure 143, le fonctionnement est le suivant :

Lorsque le piston se soulève, les clapets d'aspiration s'ouvrent et laissent affluer sous le piston un mélange d'eau, d'air et de vapeur qui remplit le volume engendré par le piston.

Lorsque le piston s'abaisse, le mélange fluide est comprimé, et lorsque sa pression est suffisante pour vaincre celle qui s'exerce sur les clapets de refoulement, ces clapets s'ouvrent et laissent passer le mélange au-dessus d'eux.

Un nouveau coup de piston produit une nouvelle aspiration et l'expulsion à l'extérieur du mélange qui recouvre les clapets de refoulement.

Le fonctionnement des clapets de refoulement ne donne lieu, en général, à aucun mécompte, mais il n'en est pas de même des clapets d'aspiration. Ceux-ci ne se soulèvent que quand la différence de pression qui s'exerce sur leurs faces est suffisante pour vaincre leur poids; d'un côté s'exerce la pression du condenseur, de l'autre la dépression produite par le mouvement ascendant du piston.

Cette dépression est réduite par la détente de l'air qui a été comprimé dans l'espace nuisible pendant la course descendante du piston et comme, d'autre part, la pression qui tend à ouvrir le clapet diminue lorsque la pression baisse dans le condenseur, l'ouverture de ce clapet se fait de plus en plus tardivement pour rester complètement fermé pour un certain vide au condenseur (60 millimètres de mercure dans certaines pompes).

Son rendement volumétrique diminue progressivement jusqu'à 0.

On a cherché à remédier à cet inconvénient en commandant mécaniquement les clapets, mais cela donne lieu à des complications.

Une bonne solution de la question consiste à éviter l'emploi des clapets d'aspiration. La *pompe Edwards* est dans ce cas.

Dans cette pompe (fig. 144), le piston arrivé au bas de sa course découvre des orifices, et en même temps chasse l'eau accumulée dans la chambre inférieure.

Cette eau pénètre dans le corps de pompe en entraînant l'air logé dans l'inter-
valle annulaire. Cet air n'a à surmonter qu'une différence de pression de quelques centimètres d'eau, bien inférieure à celle qu'il aurait dû vaincre pour soulever des clapets d'aspiration.

L'air s'échappe donc plus facilement dans cette pompe que dans des pompes ordinaires, mais, elle est à un seul corps, et son rendement volumétrique tend aussi vers zéro, limite qu'il atteint pour une pression de 50 millimètres de mercure dans le condenseur.

Cette pompe ne peut guère convenir que pour un condenseur de machine à piston.

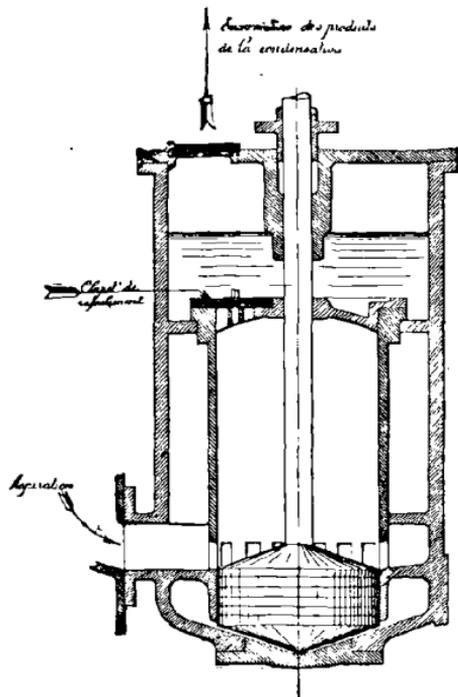


Fig. 144. — Pompe Edwards.

166. Comparaison entre les pompes à air verticales et horizontales. — Le degré de vide d'un condenseur dépend donc beaucoup de la manière dont se fait l'expulsion de l'air. Les dispositions adoptées dans l'organisation des pompes ont une grande influence sur le résultat obtenu et, à ce point de vue, il semble qu'il y ait lieu de préférer les pompes verticales à simple effet, accouplées en série, aux pompes horizontales. Ces pompes sont, en général, à deux ou trois étages de clapets.

Les pompes doivent être de préférence verticales et à simple effet ; verticales, parce que dans ces pompes l'air s'accumule à la partie supérieure du cylindre et y forme un matelas élastique qui régularise le mouvement de la pompe ; à simple effet, parce que dans les pompes verticales à double effet, l'évacuation de l'air se fait avec difficulté d'un côté du piston.

Dans les pompes horizontales, l'évacuation de l'air se fait, en général, moins bien que dans les pompes verticales. Lorsqu'on les emploie, on cherche à éviter la formation de poches d'air dans le condenseur, en donnant à cet appareil, ainsi qu'aux pompes, des formes intérieures favorisant l'évacuation de cet air.

Le seul inconvénient des pompes à simple effet est d'occasionner des oscillations du vide dues au fonctionnement même. On y remédie dans les machines Dujardin en employant plusieurs pompes à simple effet à périodes alternées. On dispose aussi quelquefois (M. Ringhoffer, de Prague), au-dessus du piston de la pompe, une chambre à air destinée à amortir ces oscillations et à régulariser la marche.

167. Volume du condenseur. — Le volume à donner

au condenseur dépend beaucoup de la vitesse d'écoulement de l'eau de condensation ou de la pression de cette eau.

Dans beaucoup d'installations, le condenseur sert d'aspirateur, c'est-à-dire que l'eau n'entre dans l'appareil que par l'effet du vide qui y règne. Dans ce cas, le volume du condenseur est, pour une machine monocylindrique, sensiblement égal au volume du cylindre de cette machine.

Lorsque l'eau arrive en charge dans le condenseur, les dimensions de cet appareil peuvent être plus réduites, à condition toutefois que l'évacuation de toute l'eau introduite soit assurée.

Au fur et à mesure que la vitesse de circulation de l'eau dans l'appareil augmente, les dimensions de celui-ci diminuent; à la limite, on arrive à l'éjecto-condenseur, dont il sera question plus loin, dont les dimensions sont comparables à celles de la conduite d'eau qui l'alimente.

168. Température au condenseur. — La température généralement admise dans les condenseurs de machines à pistons est comprise entre 35° et 40°.

Il semble qu'il y ait toujours intérêt à abaisser cette température, mais en réalité un abaissement de température de quelques degrés au condenseur donne lieu à une dépense d'eau supplémentaire, et l'on perd dans les pompes l'augmentation de puissance due à ce surcroît de vide.

La théorie comme la pratique montrent qu'il n'y a pas intérêt à chercher à abaisser la température des condenseurs à mélange des machines à piston en dessous de 40°.

169. Fonctionnement d'un condenseur à mélange, amorçage d'un condenseur. — A la mise en marche, le

condenseur est complètement rempli d'air ; il faut y établir le vide qui y sera maintenu par le fonctionnement même de l'appareil. L'amorçage d'un condenseur consiste dans l'établissement de ce vide initial.

Pour le produire, le moyen le plus simple consiste à faire arriver dans le condenseur l'eau d'une canalisation en charge, et à épuiser cette eau au moyen de la pompe à air. Cette pompe expulse l'air et l'eau à la fois. Au fur et à mesure que le vide s'améliore, l'eau d'une seconde canalisation ¹, celle de l'eau qui a déjà servi à la condensation et qui a été refroidie dans des réfrigérants, est aspirée par l'effet du vide et elle s'injecte dans l'appareil.

Lorsque le condenseur ne dispose pas d'une canalisation d'eau en charge, on chauffe l'appareil avant la mise en train au moyen d'un jet de vapeur. L'air se dilate, soulève les soupapes d'aspiration ² de la pompe à air et se dégage dans l'atmosphère ; on refroidit le condenseur en l'aspergeant d'eau, et le vide se fait.

Les diverses phases de l'amorçage s'observent sur l'indicateur de vide ; au début, l'aiguille se meut lentement, puis, lorsque le vide se fait, elle se meut rapidement jusqu'à ce que le vide normal soit atteint.

Lorsque le condenseur est amorcé, on maintient le vide à sa valeur normale en réglant convenablement l'arrivée d'eau.

¹ Les machines à condensation disposent généralement de deux canalisations d'eau :

- 1° Une canalisation d'eau froide en charge ;
- 2° Une canalisation d'eau ayant déjà servi à la condensation et venant des réfrigérants.

² Cette opération doit être faite avec précaution, car l'introduction d'une vapeur trop chaude dans la pompe, peut avoir pour effet de détruire ses clapets, lorsque ceux-ci sont en caoutchouc.

Ce réglage se fait à la main. Il est invariable lorsque la machine a un régime régulier, mais si la charge diminue, par exemple, l'eau arrive en trop grande quantité pour la vapeur à condenser, le vide s'améliore, mais l'appareil tend à se remplir d'eau.

Cette eau peut s'introduire dans les conduites d'échappement et arriver jusqu'au cylindre où elle provoque un coup d'eau, qui a généralement pour effet de le défoncer.

Pour empêcher cet accident de se produire, on organise parfois un *casse vide* dans l'appareil. Son rôle est d'empêcher l'eau de monter trop haut dans le condenseur.

Dans les machines Dujardin, un flotteur arrête l'arrivée d'eau ; dans le condenseur Blake, un flotteur commande un robinet d'introduction d'air dans le condenseur.

Si la charge augmente, la vapeur entre en trop grande quantité dans l'appareil, le vide baisse, la température s'élève et le condenseur se désamorçc.

Ces incidents montrent que la condensation ne donne lieu à un fonctionnément régulier et sûr des appareils que lorsqu'elle s'applique à des machines dont la charge ne subit pas de variations trop brusques et trop considérables. C'est une des raisons pour lesquelles on ne l'applique pas aux machines de commande des laminoirs et aux machines d'extraction des mines.

170. Condenseur barométrique. — Dans ce type d'appareil l'eau s'écoule dans le condenseur par sa partie supérieure, d'une hauteur au moins égale à celle qui représente la pression barométrique du lieu, c'est-à-dire dix mètres environ.

Il est constitué par une cloche contenant une série de

plates-formes en chicanes sur lesquelles l'eau s'écoule en cascades en formant un flux descendant.

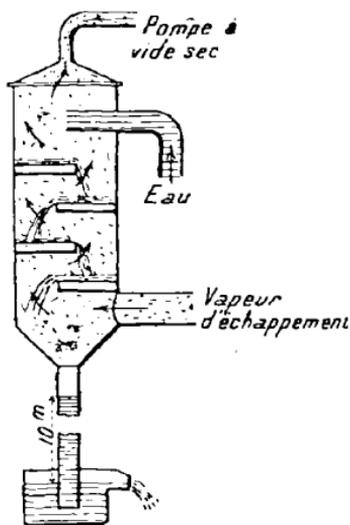


Fig. 145. — Condenseur Weiss.

La vapeur d'échappement arrive par la partie inférieure, elle est condensée par son mélange avec l'eau froide descendante.

L'air dissous dans l'eau, ainsi que celui qui est amené par la vapeur et celui qui entre par les joints, est aspiré par la partie supérieure de l'appareil. L'eau chaude s'écoule naturellement par la partie inférieure.

L'installation de ce condenseur, qui est en définitive un condenseur à mélange d'un type spécial, nécessite l'emploi de pompes élévatoires et d'une pompe à air sec.

Le condenseur Weiss (fig. 145), jouissant d'une certaine vogue, est basé sur ce principe. Il en est de même du condenseur Balcke.

CHAPITRE III

CONDENSEURS A SURFACE

171. Organisation générale des condenseurs à surface. — Le condenseur à surface est constitué par un faisceau de tubes enfermés dans un corps cylindrique et traversés par un courant d'eau froide. La vapeur d'échappement entoure ces tubes, elle se condense au contact de la paroi froide qu'ils forment, et il s'établit dans l'appareil une pression égale à la tension de la vapeur d'eau à la température obtenue, à la condition toutefois que l'air contenu dans la vapeur d'échappement et celui qui pénètre dans l'appareil par les joints soient aspirés par une pompe « à air sec ».

Un condenseur à surface comprend donc, en dehors du condenseur proprement dit, trois pompes (fig. 146) :

- 1° une pompe de circulation ;
- 2° une pompe à eau de condensation ;
- 3° une pompe « à air sec ».

La pompe de circulation est chargée d'établir et de maintenir le courant d'eau froide qui traverse les tubes du condenseur. Le calcul du volume d'eau que cette pompe devrait débiter serait basé sur des considérations analogues à celles qui ont été développées ci-dessus à l'occasion des condenseurs à mélange. Il faudrait, en outre, tenir compte de la perte de charge dans les tubes. Cependant, il y a lieu de remarquer que l'échange de chaleur se faisant, dans le cas actuel, par convection au lieu de se

faire par mélange, il faut pour condenser 1 kilogramme de vapeur une plus grande quantité d'eau. Il faut compter 50 litres d'eau de circulation par kilogramme d'eau de condensation recueillie.

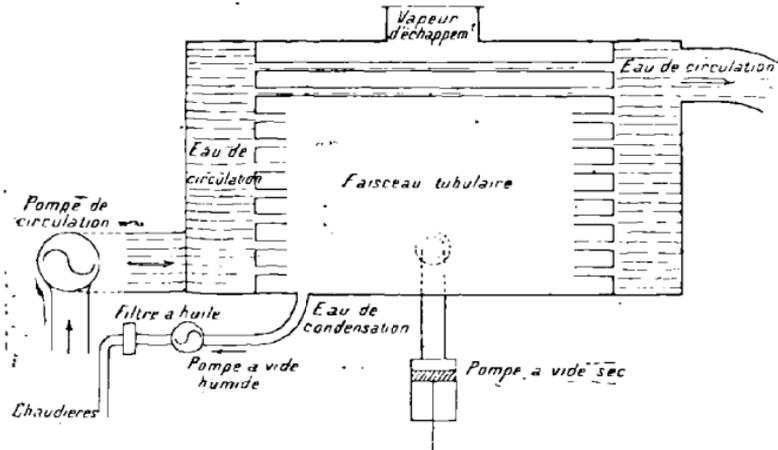


Fig. 146. — Installation d'un condenseur par surface.

Cette eau peut être de l'eau douce ou de l'eau de mer. Ce mode de condensation est donc particulièrement intéressant à appliquer aux machines marines.

La possibilité de récupérer l'eau douce qui a été vaporisée dans les chaudières, et qui a travaillé dans les machines, donne un intérêt de plus à l'application de ce mode de condensation à bord des bateaux, pour lesquels le ravitaillement en eau douce présente toujours des difficultés.

La pompe à eau de condensation est nécessairement moins importante que la précédente, puisqu'elle n'a pas d'autre but que d'évacuer l'eau condensée et de l'envoyer dans des filtres qui la débarrassent des matières grasses qu'elle contient toujours, lorsqu'elle a travaillé dans une

machine à piston. Cette eau est renvoyée dans la chaudière à la sortie des filtres.

Les deux dernières pompes sont généralement à piston, mais elles peuvent être aussi centrifuges.

La pompe à air est aussi, assez souvent, une pompe à piston, à clapets commandés mécaniquement.

Malgré cette dernière disposition, les pompes à air à piston ne peuvent faire un vide assez parfait pour l'application aux turbines à vapeur, et on est obligé d'avoir recours aux trompes à eau ou aux pompes à air, de création récente, imaginées par M. Leblanc.

Le condenseur à surface reçoit beaucoup moins d'air que le condenseur à mélange ; il donne un meilleur vide que ce dernier. C'est la raison pour laquelle l'usage de ce genre de condenseur, qui se limitait autrefois aux applications aux machines marines, s'est beaucoup répandu depuis que la turbine a supplanté la machine à piston dans un grand nombre d'installations.

172. Aéro-condenseurs. — Lorsque le condenseur à surface est organisé de manière que la vapeur à condenser cède sa chaleur à un courant d'air, il porte le nom d'aéro-condenseur.

La chaleur spécifique de l'air étant $c = 0,24$, c'est-à-dire le quart de la chaleur spécifique de l'eau, il faut, pour absorber le même nombre de calories, faire passer dans l'appareil un poids d'air égal à quatre fois environ le poids d'eau qui traverse un condenseur à surface de même puissance.

L'air sec étant, à égalité de volume, 800 fois moins lourd que l'eau, le volume d'air à employer pour la con-

densation est environ 3 200 fois plus grand que le volume d'eau correspondant.

La condensation de 1 kilogramme de vapeur exigerait donc de 90 à 100 mètres cubes d'air sec.

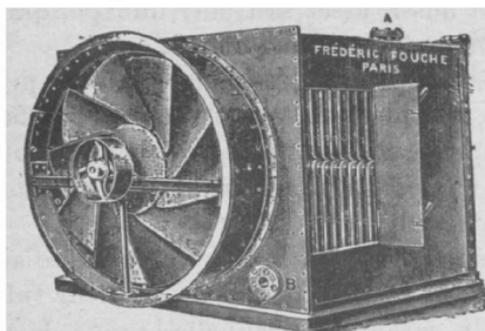


Fig. 147. — Aéro-condenseur Fouché.

Ce volume est notablement réduit lorsque l'air est humide, car l'eau agit dans ce cas comme dans un condenseur vaporisateur, c'est-à-dire en abandonnant sa chaleur latente de vaporisation.

D'après M. Fouché, l'aéro-condenseur exige 80 mètres cubes d'air environ pris à 10° pour condenser un kilogramme de vapeur et il peut donner une dépression de 65 centimètres de mercure. Cette dépression est moindre quand l'air n'est pas froid, en été, par exemple, ou quand on veut l'obtenir très chaud pour l'utiliser à certains chauffages ou séchages.

L'aéro-condenseur est donc un appareil relativement volumineux ; il exige un ventilateur dont la puissance soit égale à un dixième environ de la puissance de la machine desservie. En outre, comme tous les condenseurs à surface, l'aéro-condenseur comprend une pompe d'évacuation de l'eau condensée et, si le vide à obtenir l'exige, une pompe à vide sec.

Ce genre d'appareil ne paraît présenter un réel intérêt que lorsqu'on utilise l'air chaud qu'il fournit pour des chauffages industriels.

Il donne comme les condenseurs à surface un très bon

vide, même sans l'emploi de la pompe à vide sec ; cependant ce vide dépend de la température et surtout de l'état hygrométrique de l'air utilisé. Ainsi, en hiver, on peut atteindre de 60 à 65 centimètres de vide, tandis qu'en été on peut rarement dépasser 55 centimètres.

La figure 147 représente un aéro-condenseur Fouché.



CHAPITRE IV

CONDENSEURS VAPORISATEURS

173. Organisation générale des condenseurs vaporisateurs. — La condensation faite dans des condenseurs à mélange et des condenseurs à surface exige toujours une grande quantité d'eau.

Lorsque l'eau est rare, ou lorsqu'on ne peut récupérer par refroidissement celle qui a servi à la condensation, on emploie parfois, en Angleterre principalement, le condenseur vaporisateur.

Le condenseur vaporisateur diffère du condenseur à surface ordinaire en ce que le refroidissement, au lieu d'être dû à une circulation d'eau, est produit par l'évaporation d'une certaine quantité d'eau.

L'évaporation d'un kilogramme d'eau enlève au condenseur 550 calories environ, tandis qu'un kilogramme d'eau de circulation ne prend au maximum que le nombre de calories qui correspond à la différence de température de l'eau et du condenseur, c'est-à-dire 20 à 25 ; et, en tenant compte du coefficient de transmission de la chaleur à travers la paroi, 10 à 12 calories environ.

Le condenseur vaporisateur exigera donc 50 fois moins d'eau que le condenseur à surface de même puissance, ce qui était évident *a priori*, à la condition toutefois que l'eau employée soit entièrement vaporisée.

Il sera nécessaire parfois de favoriser l'évaporation au moyen d'un courant d'air créé par un ventilateur.

La surface évaporatoire de ce genre de condenseur, est de 6 mètres carrés par kilogrammes de vapeur condensée par minute.

La pompe à eau de condensation et la pompe à air sec, s'il en est besoin, sont les mêmes que dans le condenseur à surface.

Nous donnerons ci-dessous quelques renseignements concernant l'organisation de ce genre d'appareil :

« Un condenseur Ledward, installé à l'usine électrique de Kensington à Londres, pour condenser 9 000 kilogrammes de vapeur à l'heure, se compose de tubes longs de 1^m,50 avec un diamètre de 125 millimètres à l'intérieur. Le vide est de 580 à 680 millimètres de mercure.

« Un condenseur Fraser, installé à Londres pour le chemin de fer de Waterloo, se compose de tubes longs de 5^m,45 avec diamètre de 75 millimètres arrosés d'eau et recevant l'air du ventilateur ¹. »

¹Ed. SAUVAGE. *Annales des mines*, 10^e série, tome I, 1902, page 81. Ch. Dunod, éditeur.

CHAPITRE V

EJECTO-CONDENSEURS

174. **Organisation générale de l'éjecto-condenseur.**
L'éjecto-condenseur est basé sur le principe de l'injecteur Giffard; il utilise

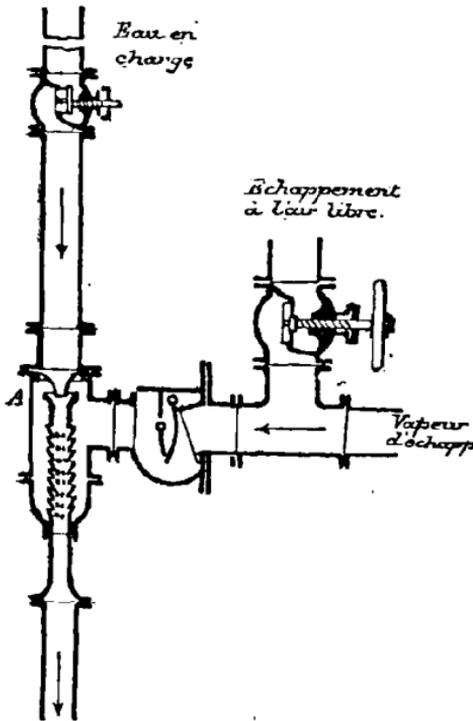


Fig. 148. — Ejecto-condenseur.

la force vive qui reste à la vapeur lorsqu'elle sort de la machine.

Il opère la condensation par mélange; l'air est entraîné par le courant d'eau.

L'appareil représenté figure 148 est organisé pour fonctionner avec de l'eau en charge et alors, il n'a pas besoin d'être amorcé.

Lorsqu'il doit aspirer l'eau qui le traverse, on est obligé de l'amorcer. A cet effet, l'éjecto-condenseur comporte une tubulure de vapeur vive d'amorçage débouchant à l'entrée du premier ajutage convergent en A.

Certains appareils possèdent un dispositif d'ouverture automatique de cet ajustage lorsque l'éjecteur se désamorce.

La marche de ces appareils est assez régulière ; ils sont peu encombrants, mais ils débitent plus d'eau pour le même vide que ceux comportant une pompe à vide humide.

Enfin, leur fonctionnement n'est sûr que lorsqu'ils utilisent de l'eau en charge.

Pour donner à cette eau une vitesse suffisante, il est nécessaire de l'envoyer sous une charge de 5 à 6 mètres, mais alors le fonctionnement de l'appareil entraîne une dépense de force motrice.

On donnera plus loin les principes qui ont servi de base à l'organisation d'éjecto-condenseurs spéciaux destinés au service des turbines à vapeur. Ces appareils ne diffèrent pas notablement, comme organisation générale, de l'éjecto-condenseur ci-dessus. Cependant des dispositions spéciales assurent l'évacuation presque complète de l'air introduit.

CHAPITRE VI

CONDENSEURS CENTRAUX INDÉPENDANTS

175. — Les condenseurs sont commandés dans la

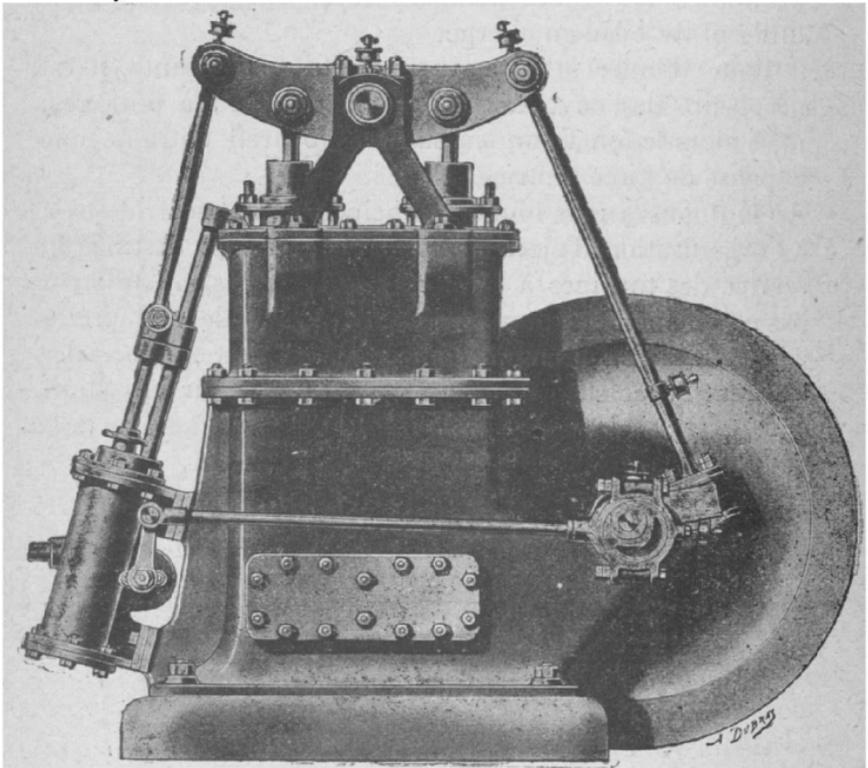


Fig. 149. — Condenseur automateur Weyher et Richmond.

plupart des cas par les machines qu'ils desservent; mais,

depuis quelque temps déjà, on a une tendance à centraliser, dans un seul appareil ou dans plusieurs réunis au même endroit, la condensation de toutes les machines d'une installation.

Les tuyaux d'échappement de toutes les machines aboutissent à un condenseur ; une ou plusieurs pompes à vide humide, quelquefois centrifuges, à commande électrique, évacuent l'eau de condensation (condenseur à mélange) et l'envoient dans des réfrigérants. Des pompes à vide sec extraient l'air du condenseur.

Ce genre d'organisation permet de gagner de la place et d'économiser de la puissance dans les pompes. Il est donc à recommander lorsque les circonstances particulières le rendent possible.

Le condenseur automoteur Weyher et Richemond (fig. 149), comprend deux pompes à air faisant le vide dans un même condenseur formé par une vaste cloche cylindrique, à la base de laquelle se trouve une coupe en bronze. Au centre de cette coupe, un orifice circulaire laisse échapper une couche d'eau très mince qui vient se pulvériser sur les parois inclinées de la coupe. La cloche se remplit d'un brouillard qui condense instantanément la vapeur. L'eau nécessaire est aussi réduite à environ 180 litres par cheval et par heure.

La pompe à air à deux cylindres est commandée par une machine à vapeur montée sur le même bâti.

Dans les stations centrales d'électricité la machine motrice à vapeur est remplacée par un moteur électrique et assez souvent la pompe alternative par une pompe rotative.

CHAPITRE VII

CONDENSEURS POUR TURBINES

176. Nécessité de condenseurs spéciaux. Pompes à air, à vide sec. — Les turbines à vapeur n'ont un bon rendement qu'à la condition d'être munies de condenseurs donnant un vide supérieur à celui que donnent les condenseurs à mélange, ou même à surface, pourvues seulement de pompes à vide humide.

C'est pour cette raison que ces genres de condenseurs comportent toujours, lorsqu'ils s'appliquent aux turbines, indépendamment de la pompe à vide humide, une pompe à vide sec, destinée à extraire l'air du condenseur. Les condenseurs pour turbines sont des condenseurs ordinaires à mélange, à surface, barométrique, etc., dans lesquels la pompe à air est organisée de manière à extraire l'air qui ne peut être enlevé par les moyens communément employés.

Les pompes à air, à vide sec, à clapets, ne seraient pas suffisantes pour remplir ce but, et on est obligé d'adopter, même dans le cas de pompes affectées à des condenseurs quelconques, des distributions par tiroir ou par soupapes, analogues aux distributions de machines à vapeur à piston.

Ces pompes à air sec donnent un vide qui est considéré comme suffisant pour des condenseurs de machine à piston et, faute de mieux, pour des condenseurs de turbines.

Mais ce genre de pompe à air possède des espaces nuisibles, et leur rendement volumétrique, qui est acceptable

lorsque le vide à obtenir est relativement faible, tend rapidement vers zéro lorsqu'il s'améliore.

L'influence des espaces nuisibles peut être réduite par divers artifices :

1° en employant des pompes à plusieurs cylindres ;

2° en opérant avec un seul cylindre, mais en faisant communiquer, pendant un temps très court, les deux parties du cylindre séparées par le piston au moment où l'aspiration étant interrompue d'un côté, le système de distribution n'a pas encore commencé l'aspiration de l'autre. L'espace nuisible, rempli d'un mélange fluide à la pression atmosphérique, se vide alors dans la capacité située de l'autre côté du piston, et la pression y devient très voisine de celle du condenseur.

« De semblables pompes peuvent facilement maintenir une pression de 15 millimètres de mercure dans une capacité où il ne peut affluer que de l'air provenant de l'atmosphère. »

Mais il n'en est plus de même lorsqu'on leur fait aspirer de l'air dans un condenseur et, dans ce cas, elles ne produisent pas un plus grand vide que les pompes à « air humide ».

Cela tient à ce que leur rendement volumétrique est beaucoup plus petit que lorsqu'elles aspiraient de l'air sec : le mélange d'air et de vapeur extrait d'un condenseur contient toujours de l'eau entraînée mécaniquement sous forme de gouttelettes, et cette eau se vaporise partiellement pendant l'aspiration en remplissant non seulement l'espace nuisible mais une partie du cylindre ¹.

C'est à cet entraînement d'eau, signalé par M. Maurice Leblanc que l'on peut attribuer les coups d'eau, toujours

¹ M. LEBLANC. *Note sur la condensation.*

très graves, qui se produisent parfois lorsque dans l'accouplement en parallèle d'alternateurs commandés par des machines à piston, l'une de ces machines fonctionne momentanément comme une pompe.

Pour cette raison, il semble prudent de faire marcher les machines à échappement libre, au moment où l'on fait le couplage d'un alternateur avec un réseau à courants alternatifs en activité.

177. **Pompes à vide sec à éjecteur.** — *Les pompes à air, à piston, sont donc insuffisantes pour produire les vides élevés nécessaires aux turbines, et il est rationnel de chercher à obtenir le vide nécessaire à ce genre de machine en employant une catégorie d'appareils, tels que les éjecteurs et les trompes à eau ne possédant pas d'espace nuisible et, par conséquent, n'étant pas susceptibles de voir leur rendement volumétrique réduit par cette cause.*

Dans ces appareils, au contraire, le volume de fluide réellement aspiré tend plutôt à augmenter lorsque sa pression diminue.

M. Parsons a adopté, pour ce genre d'appareils, le dispositif suivant (fig. 150) :

Un éjecteur alimenté par de la vapeur vive aspire dans le condenseur où l'on veut produire un vide élevé, et il refoule en même temps que le fluide aspire la vapeur. La vapeur ainsi employée se condense dans un condenseur auxiliaire; une pompe à air aspire dans ce dernier condenseur.

Le rôle de l'éjecteur est de maintenir une pression plus élevée dans le condenseur auxiliaire que dans le conden-

seur principal, afin que la pompe à air ait une meilleure utilisation que si elle aspirait directement dans celui-ci.

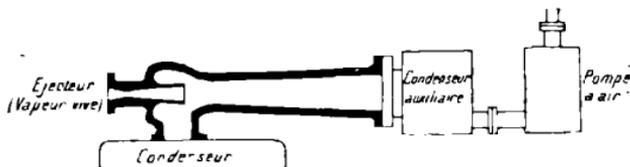


Fig 150. — Ejecto-condenseur Parsons.

On pourrait remplacer, ainsi que l'a fait remarquer M. Leblanc, la pompe à air par un ou plusieurs injecteurs en série. Il faudrait alors condenser dans un condenseur auxiliaire spécial, placé à la sortie de chaque éjecteur, la vapeur qu'on lui aurait fournie, afin que l'éjecteur suivant n'ait pas à la comprimer en même temps que l'air.

Ces méthodes ont l'inconvénient d'entraîner une assez grande dépense de vapeur ; c'est pourquoi, on a cherché (M. Rateau, M. Körting, M. Leblanc) à employer des trompes à eau, de préférence aux éjecteurs à vapeur, pour enlever l'air des condenseurs.

L'organisation de ces appareils est des plus simples ; la pompe est constituée par une pompe rotative élevant l'eau à une certaine hauteur ; c'est la puissance vive de cette eau qui est utilisée dans la trompe.

Le volume de fluide qu'une gerbe d'eau est susceptible d'entraîner est à peu près indépendant de la pression, lorsque celle-ci est faible, et aussi de la composition du fluide, c'est-à-dire de la quantité d'eau qu'il tient en suspension : la trompe à eau est donc un appareil susceptible d'enlever l'air d'un condenseur à très faible pression, et cela explique pourquoi les ejecto-condenseurs basés sur les propriétés des trompes à eau, donnent de très bons vides.

Le *condenseur Kolb* peut être considéré comme un appareil du même genre. Il comprend une pompe centrifuge refoulant l'eau dans un ajutage conique convergent d'où il sort sous forme de disque mince animé d'une très grande vitesse : La vapeur d'échappement entraîne ce jet d'eau. La vapeur condensée et l'eau entraînent l'air ; le vide obtenu est très bon.

178. **Pompe à air de M. Leblanc.** — M. Leblanc a encore amélioré ce genre d'appareil (fig. 151) :

Les perfectionnements portent sur deux points principaux :

- 1° une augmentation du rendement de la trompe ;
- 2° une amélioration de l'effet utile, c'est-à-dire de la quantité d'air extraite pour une même puissance vive mise en jeu.

1° Dans une trompe, on donne à l'eau une certaine charge au moyen d'une pompe, et on transforme l'énergie potentielle qu'elle représente en puissance vive. Cette transformation donne lieu à des pertes d'énergie qui seraient évitées si l'eau recevait directement l'énergie cinétique qui lui est nécessaire pour agir dans la trompe, c'est-à-dire si la pompe lançait directement l'eau dans l'ajutage de la trompe au lieu de l'élever pour lui faire reprendre ensuite sa vitesse sous l'action de la pesanteur.

La pompe adoptée par M. Leblanc est organisée d'après ces principes, elle n'est autre qu'une turbine hydraulique à injection partielle travaillant en sens contraire de son sens de marche en tant que turbine ; elle lance l'eau qu'elle reçoit dans l'ajutage de la trompe.

2° Dans une trompe à eau ordinaire, le filet d'eau ne peut entraîner le fluide soumis à ses effets que par sa

surface. M. Leblanc a eu l'idée de faire débiter par la

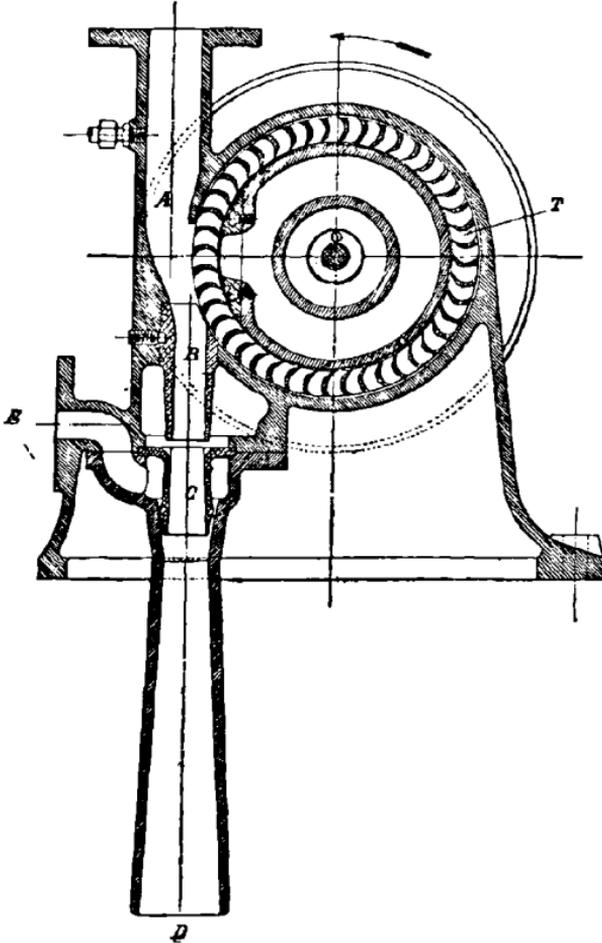


Fig. 151. — Pompe à vide système Leblanc.

pompe non pas une masse d'eau continue, mais une série de lames séparées les unes des autres par des vides.

L'eau s'étale, au sortir de la roue, et enrobe, entre les

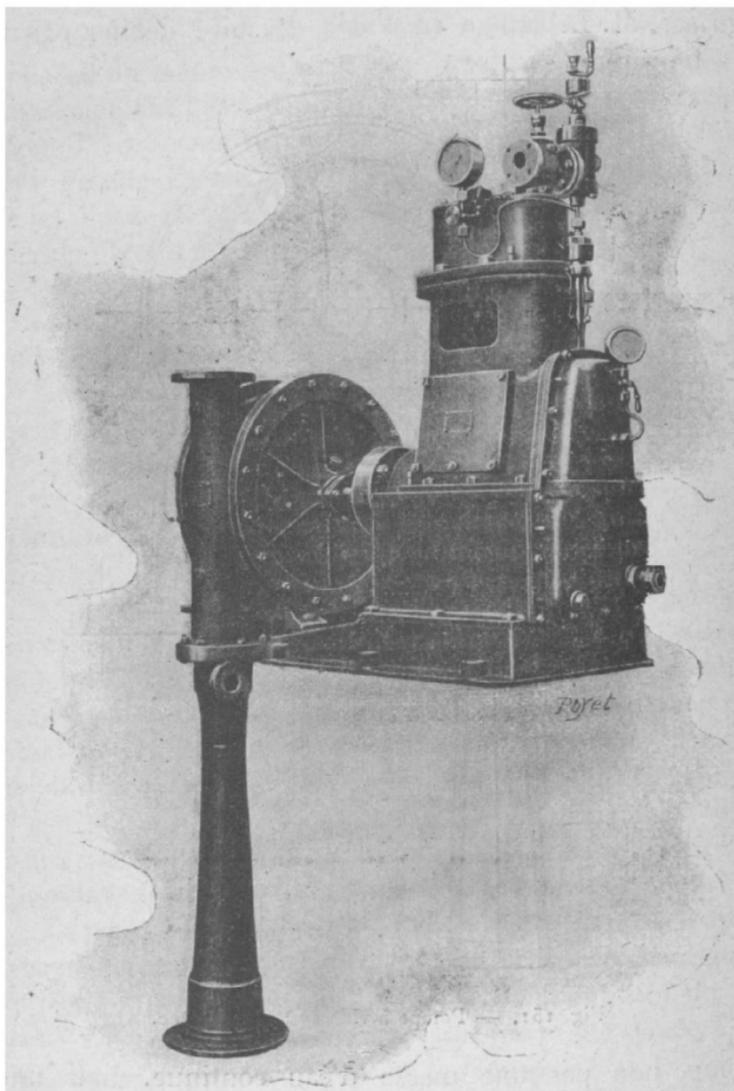


Fig. 152. — Pompe système Leblanc.

lames qu'elle forme, le fluide à entraîner. Si la nappe ainsi constituée épouse les formes de l'ajutage qui lui est offert, il ne se produit pas de remous, et le fluide est complètement entraîné.

En outre, la vitesse de l'eau est assez grande pour que l'air qu'elle tient en dissolution n'ait pas le temps de se dégager.

La pompe à air de M. Leblanc comprend donc une turbine à injection partielle travaillant comme une pompe et lançant dans l'ajutage d'une trompe une succession de lames d'eau, enrobant entre elles le fluide à entraîner.

Une arrivée de vapeur spéciale permet d'amorcer l'appareil en produisant l'aspiration de l'eau dans la pompe.

Cette pompe à air s'applique aux condenseurs à surface ainsi qu'aux condenseurs à mélange. Elle permet d'obtenir un vide tel que la pression dans le condenseur soit égale exactement à la tension de la vapeur correspondant à la température qui y règne.

La figure 152 représente une pompe système Leblanc munie de son moteur.

APPLICATIONS DES POMPES A AIR SYSTÈME M. LEBLANC AUX CONDENSEURS A SURFACE ET AUX CONDENSEURS À MÉLANGE.

179. **Condenseurs à surface.** — Le condenseur à surface comprend, indépendamment de sa pompe à eau de circulation et de sa pompe à eau de condensation, une tuyauterie spéciale le mettant en communication avec la pompe à air « à vide sec ».

Cette pompe peut utiliser l'eau de mer aussi bien que

d'eau douce, mais dans laquelle emploie l'eau de mer elle comporte des organes en bronze ou garnis de bronze.

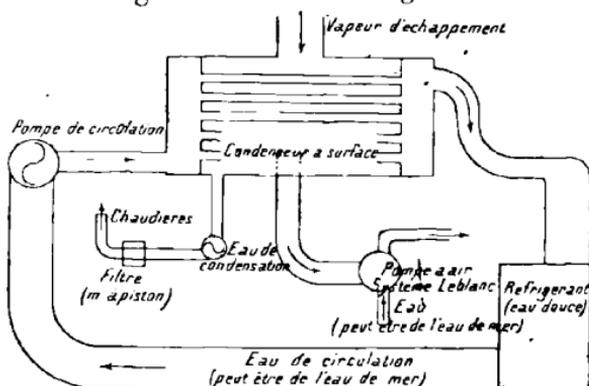


Fig. 153. — Disposition schématique d'un condenseur par surface muni d'une pompe Leblanc.

La figure 153 montre l'organisation schématique de ces divers appareils.

180. **Condenseurs à mélange.** — Ce genre de condenseur comprenant déjà une pompe à air dite « à vide humide », il était naturel de chercher à produire à la fois la condensation et l'extraction de l'air dans un seul et même appareil, et ne comportant que cette seule pompe.

L'eau déversée par plusieurs jets dans le condenseur (en utilisant sa force vive et celle de la vapeur d'échappement pour former autant d'éjecto-condenseurs partiels) tombe au fond de l'appareil d'où elle est prise par la pompe pour être envoyée dans la trompe.

Ce dispositif, qui était le plus simple et le plus économique de ceux que l'on pouvait imaginer, donnait lieu à des désamorçages et l'on dut, pour mettre l'appareil à l'abri de ces incidents, ajouter une pompe à vide humide,

centrifuge, agissant pour évacuer rapidement l'eau chaude au dehors et l'empêcher de céder l'air qu'elle contient au condenseur.

La pompe « à vide sec » Système Leblanc aspire l'air à la partie supérieure du condenseur, elle est calée sur le même arbre que la pompe centrifuge à vide humide.

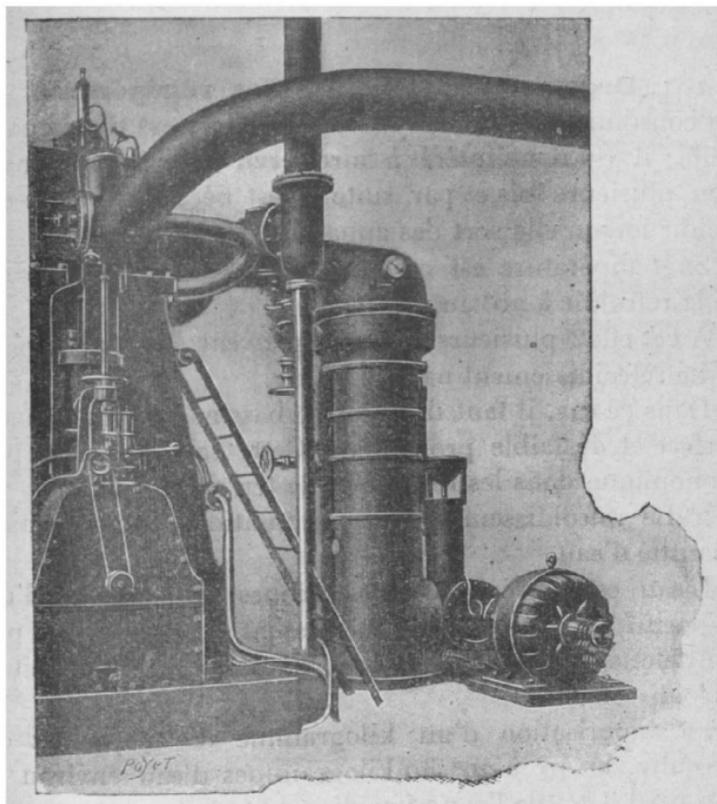


Fig. 154. — Applications des pompes système Leblanc.

La figure 154 représente une application de la pompe à air Leblanc.

CHAPITRE VIII

RÉFRIGÉRANTS

181. **Organisation générale des réfrigérants.** — La consommation en eau des condenseurs est très importante ; il y a donc intérêt à faire servir l'eau de condensation plusieurs fois et par suite il est nécessaire de la refroidir lorsqu'elle sort des appareils.

Sa température est environ de 40° ; il est nécessaire de la refroidir à 20° au maximum.

A cet effet, plusieurs procédés peuvent être employés :
1° Le refroidissement naturel à l'air.

Dans ce cas, il faut disposer de bassins de très grande surface et de faible profondeur. Cette solution n'est pas économique dans les régions où le terrain est cher.

2° Le refroidissement par évaporation d'une certaine quantité d'eau.

L'eau est élevée par des pompes au sommet d'un dispositif de claies ajourées laissent tomber l'eau par gouttelettes. C'est l'évaporation naturelle qui produit le refroidissement.

La vaporisation d'un kilogramme d'eau permet de refroidir de 40° à 20° 30 kilogrammes d'eau environ et l'on perd 3 % de l'eau refroidie.

Dans un type de réfrigérant qui s'emploie souvent dans les usines situées au voisinage de maisons d'habitation, l'eau chaude tombe sur une série de chicanes formant

une sorte de cheminée verticale au centre de laquelle peut circuler un courant d'air.

L'ensemble du dispositif est entouré de planches jointives.

La colonne d'air centrale s'échauffe, et par le mouvement ascensionnel qu'elle prend, elle produit une évaporation extrêmement énergique qui refroidit la masse d'eau s'écoulant sur les chicanes (Réfrigérant Balcke).

3° Enfin, dans les réfrigérants à « jets d'eau », l'eau à refroidir s'échappe par un très grand nombre de jets pulvérisateurs.

La vaporisation rapide d'une partie de l'eau ainsi pulvérisée donne lieu à un refroidissement très énergique de la masse. Ce type de réfrigérant, et ceux qui sont basés sur le même principe, ont l'avantage d'exiger peu de place ; aussi est-il assez employé dans les installations urbaines.

— — — — —

ANNEXES

—

RÉGLEMENTATION DES APPAREILS A VAPEUR EN FRANCE

I. *Réglement* concernant les *appareils à vapeur* installés à
terre

Décret du 7 octobre 1907.

II. *Taxes* applicables aux *épreuves réglementaires* des *appareils à*
vapeur.

Loi du 18 juillet 1892.

RÈGLEMENT
concernant les appareils à vapeur installés à terre

Décret du 7 octobre 1907

RAPPORT DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
AU PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Paris, le 7 octobre 1907.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Les décrets du 30 avril 1880 et du 29 juin 1886, qui régissent depuis plus de vingt-cinq ans l'emploi des générateurs et des récipients de vapeur, ont été inspirés du même esprit qui animait déjà le précédent règlement du 25 janvier 1865 ; on s'est efforcé de concilier, autant que possible, les nécessités de la sécurité publique avec les exigences de l'industrie.

Les efforts de l'administration n'ont pas été vains, car, si l'on compare la statistique des appareils à vapeur en activité et des accidents qui ont affecté ces appareils, respectivement pour les deux périodes quinquennales 1881-85 et 1899-1903, on voit l'effectif des appareils assujettis au règlement s'élever de 96.000 à 140.000, et le nombre de morts, par 10.000 appareils et par an, s'abaisser de 3,7 à 1,5.

Néanmoins, sur certains points, cette réglementation n'est plus aujourd'hui en rapport exact, soit avec les principes techniques susceptibles d'assurer le maximum de sécurité, soit avec le degré de liberté qui peut être donné à l'industrie sans augmentation de risque. Il n'y a rien là qui doive surprendre, si l'on songe aux progrès accomplis, aux transformations subies par les arts mécaniques durant ce quart de siècle. Actuellement, il semble possible, sans nuire au déve-

loppement de l'industrie et en accordant au contraire de notables facilités à certaines installations, de favoriser de plus en plus la décroissance du rapport entre le nombre annuel des morts et la puissance des appareils à vapeur.

La revision tendant à ce but a été étudiée d'abord par une commission spéciale, dont le premier soin a été de recueillir les observations de tous les ingénieurs des mines chargés de la surveillance des appareils à vapeur et de s'entourer de renseignements sur les règlements étrangers. Des délibérations de cette commission est sorti un texte que la commission centrale des machines à vapeur a remanié en le simplifiant. Enfin, le conseil d'Etat a amendé le projet sur plusieurs points, soit dans un but de précision, soit pour compléter les conditions d'emplacement des chaudières en vue d'assurer le plus de sécurité aux travailleurs des ateliers.

La statistique montre que la cause principale des accidents mortels qui surviennent dans l'emploi des appareils à vapeur est le défaut d'entretien. Le règlement s'est donc attaché à rendre plus précises et, dans la mesure nécessaire, plus complètes que par le passé, les obligations de l'exploitant à cet égard. L'article 36 du décret de 1880 dit bien que « ceux qui font usage de générateurs ou de récipients à vapeur veilleront à ce que ces appareils soient entretenus constamment en bon état de service » et que, « à cet effet, ils tiendront la main à ce que des visites complètes, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, soient faites à des intervalles rapprochés pour constater l'état des appareils et assurer l'exécution, en temps utile, des réparations ou remplacements nécessaires ». Mais quels sont ces intervalles que le décret qualifie de rapprochés ? Quelles traces laissent ces visites ? Comment le service des mines peut-il s'assurer qu'elles ont été faites ? Dans le système nouveau, les cas où l'appareil doit être l'objet d'une visite complète, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, sont soigneusement précisés. Cette visite complète devient le complément indispensable de tout renouvellement de l'épreuve hydraulique. Quelles que soient les circonstances, elle doit avoir lieu au minimum une fois chaque année. Il en restera une trace matérielle, sous la forme d'un compte rendu daté et signé par le visiteur, compte rendu qui sera représenté aux agents du service des mines.

De plus, un registre d'entretien sera tenu par l'exploitant, qui devra y noter, à leur date, les visites intérieures et extérieures, ainsi que les réparations.

Les industriels n'ont pas tous à leur service, dans leurs établissements, un personnel technique compétent pour procéder à ces indispensables visites ; mais ils peuvent s'adresser à des spécialistes du dehors. L'affiliation à une association de propriétaires d'appareils à vapeur est l'un des moyens qu'il leur est loisible d'employer pour s'assurer, dans des conditions faciles et relativement peu coûteuses, les services de visiteurs exercés.

Les vérifications auxquelles procèdent ces associations étaient déjà mises à profit sous le régime du décret de 1880 pour éviter certains renouvellement d'épreuves, conformément à l'article 3. Le règlement projeté fait un pas de plus dans le même sens. Il pourra dorénavant être sursis à l'épreuve décennale, sur l'autorisation de l'ingénieur des mines, lorsqu'une association agréée certifiera le bon état de l'appareil dans toutes ses parties.

De la statistique des accidents se dégage un enseignement important : c'est que les victimes des accidents de chaudières sont en très grande majorité, non des personnes tuées par les effets mécaniques de la fragmentation de l'appareil, mais des ouvriers brûlés ou asphyxiés par un retour de flamme ou une projection de vapeur d'eau. Ce genre d'accident s'est multiplié à la suite de l'introduction, dans l'usage industriel, des générateurs à tubes d'eau, plus sujets que les grands corps cylindriques aux avaries de détail, par suite de leur principe même et parce que, dans les premiers temps de leur emploi, ni les constructeurs ni les usagers n'en connaissaient parfaitement le fort et le faible. Quoi qu'il en soit de cette dernière circonstance, il est visiblement d'une importance de premier ordre, pour la sécurité d'emploi de toutes les chaudières et en particulier de celles à tube d'eau, que les chauffeurs soient le mieux protégés possible contre les dangers de brûlure et d'asphyxie. On peut beaucoup, dans cet ordre d'idées, en disposant d'une manière judicieuse les portes des foyers, les fermetures des boîtes à tubes et des boîtes à fumée, en dotant toute chambre de chauffe d'issues aisément praticables dans

deux directions au moins, en assurant l'aération des chauffe-ries. C'est à quoi le règlement nouveau pourvoit, par ses articles 16 et 17.

A la faveur du progrès que ces prescriptions nouvelles, jointes à l'expérience technique maintenant acquise par les constructeurs et par le personnel des usines, réaliseront dans la sécurité d'emploi des générateurs à petits éléments, il devient possible de modifier les règles relatives à l'emplacement des chaudières et des groupes de chaudières au voisinage des habitations ou dans les immeubles à étages. On a, pour ainsi dire, incorporé dans le règlement la jurisprudence administrative relative aux dérogations d'emplacement, en décidant de faire dorénavant abstraction, pour le calcul du produit caractéristique, des éléments de petite section. La rupture d'un de ces éléments ne saurait, en effet, donner lieu à de grands effets dynamiques. Elle pourrait être dangereuse, il est vrai, pour le personnel même de la chaufferie ; mais, à cet égard, on compte sur la protection qui résultera désormais des dispositions prescrites par les articles 16 et 17.

Les locomobiles ont donné lieu, durant ces dernières années, à des accidents dont la fréquence et la gravité étaient hors de proportion avec la puissance totale de cette classe d'appareils. C'est pourquoi, tandis que le règlement nouveau se distingue, ainsi qu'il vient d'être expliqué, par des innovations libérales en ce qui touche les générateurs fixes, les appareils locomobiles sont l'objet de mesures destinées à resserrer à leur égard la surveillance administrative. On a tenu, cependant à leur conserver d'une manière générale le même système réglementaire qu'aux autres appareils à vapeur, c'est-à-dire à les laisser sous le régime de la simple déclaration ; les mesures spéciales qui les visent, notamment la substitution à l'épreuve décennale d'une épreuve tous les cinq ans, et l'obligation d'une vérification complète de l'état de l'appareil lors de tout changement de propriétaire, n'ont rien qui puisse porter atteinte aux intérêts légitimes de l'industrie.

Le décret du 25 janvier 1865 avait laissé les récipients de vapeur hors de toute réglementation. Le décret de 1880 a réglementé certains de ces appareils ; mais il n'a visé que ceux au moyen desquels une matière est élaborée ou bien ceux dans

lesquels de l'eau à haute température est emmagasinée pour fournir ensuite un dégagement de chaleur ou de vapeur. Le nouveau règlement substitue une notion plus large et plus simple à des définitions particularistes, ainsi que l'a fait déjà le décret du 1^{er} février 1893, relatif aux appareils à vapeur de la navigation maritime. Il protège, mieux que par le passé les récipients de vapeur contre les excès de pression et contre l'affaiblissement par usure, causes principales d'explosion pour ces appareils. Enfin, il exclut de l'intérieur des maisons habitées ceux qui ont à la fois un grand volume et une forte pression.

Il existe une catégorie d'appareils à vapeur intermédiaires, pour ainsi dire, entre les générateurs et les récipients : ce sont les marmites de Papin, ou, comme on dit incorrectement, mais usuellement, dans l'industrie, les autoclaves chauffés à feu nu. Ces vases clos, où de la vapeur est engendrée mais séjourne sans écoulement, n'ont pas été explicitement visés par le décret du 30 avril 1880. La circulaire du 21 juillet de la même année prescrit de les assimiler aux générateurs de vapeur, quitte à les dispenser, par voie de dérogation, des appareils de sûreté qui leur sont inutiles. C'est une solution qui donne lieu, pour le moins, à des formalités inutiles. Le projet fixe, par un article explicite, le régime réglementaire applicable à ces appareils.

Je ne crois pas nécessaire d'insister sur les autres modifications apportées aux dispositions du décret du 30 avril 1880. Elles ont surtout pour but de mettre la réglementation des appareils de sûreté en harmonie avec l'état présent de la science technique, et de préciser les dispositions applicables aux réchauffeurs, surchauffeurs, etc. Dans son ensemble, le projet de décret ci-joint me paraît constituer, par rapport à la réglementation antérieure, une mise au point conforme aux progrès de l'art et profitable à la sécurité publique, quoique laissant à l'industrie la plus grande somme possible de liberté.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, les assurances de mon profond respect.

Le ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes.

LOUIS BARTHOU.

DÉCRET DU 9 OCTOBRE 1907

Portant Règlement pour les Appareils à vapeur à terre.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes,

Vu la loi du 21 juillet 1856, concernant les contraventions aux règlements sur les appareils et bateaux à vapeur ;

Vu la loi du 18 avril 1900 concernant les contraventions aux règlements sur les appareils à pression de vapeur ou de gaz et sur les bateaux à bord desquels il en est fait usage ;

Vu le décret du 30 avril 1880 relatif aux chaudières à vapeur autres que celles placées sur les bateaux ;

Vu le décret du 29 juin 1886 portant modification du précédent ;

Vu l'avis de la commission centrale des machines à vapeur ;

Le conseil d'État entendu,

Décrète :

ARTICLE PREMIER. — Sont soumis aux formalités et aux mesures prescrites par le présent règlement :

1° Les générateurs de vapeur, autres que ceux qui sont placés à bord des bateaux ;

2° Les récipients définis ci-après (titre V).

Sont exceptés, toutefois, de l'application de ce règlement :

a) Les générateurs dont la capacité est inférieure à 25 litres.

b) Les générateurs de capacité quelconque où des dispositions matérielles efficaces empêchent la pression effective de la vapeur de dépasser 300 grammes par centimètre carré, à la condition que ces générateurs soient munis d'une plaque portant les mots « non soumis au décret du 9 octobre 1907 » et indiquant la pression maximum pour laquelle ces dispositions sont prises ; le constructeur doit adresser à l'ingénieur des mines, au plus tard à la fin du mois, un état des généra-

teurs remplissant les conditions prévues au présent paragraphe, qu'il a livrés, avec la désignation des acquéreurs.

TITRE PREMIER

Mesures de sûreté relatives aux chaudières placées à demeure

ART. 2. — Aucune chaudière neuve ne peut être mise en service qu'après avoir subi l'épreuve réglementaire ci-après définie. Cette épreuve doit être faite chez le constructeur et sur sa demande.

Toutefois, elle pourra être faite sur le lieu d'emploi dans les circonstances et sous les conditions qui seront fixées par le ministre.

Toute chaudière venant de l'étranger est éprouvée avant sa mise en service, sur le point du territoire français désigné par le destinataire dans sa demande.

ART. 3. — Lorsqu'une chaudière a subi, dans un atelier de construction ou de réparation, des changements ou des réparations notables, l'épreuve doit être renouvelée sur la demande du constructeur ou du réparateur.

Le renouvellement de l'épreuve peut être exigé de celui qui fait usage d'une chaudière :

1° Lorsque la chaudière, ayant déjà servi, est l'objet d'une nouvelle installation ;

2° Lorsqu'elle a subi une réparation notable ;

3° Lorsqu'elle est remise en service après un chômage de plus d'un an.

A cet effet, l'intéressé devra informer l'ingénieur des mines de ces diverses circonstances. En particulier, si l'épreuve exige la démolition du massif du fourneau ou l'enlèvement de l'enveloppe de la chaudière et un chômage plus ou moins prolongé, cette épreuve pourra ne point être exigée, lorsque des renseignements authentiques sur l'époque et les résultats de la dernière visite, intérieure et extérieure, constitueront une présomption suffisante en faveur du bon état de la chaudière. Pourront être notamment considérés comme renseignements probants les certificats délivrés aux membres des associations

de propriétaires d'appareils à vapeur par celles de ces associations que le ministre aura désignées.

Le renouvellement de l'épreuve est exigible également lorsque à raison des conditions dans lesquelles une chaudière fonctionne, il y a lieu, par l'ingénieur des mines, d'en suspecter la solidité.

Dans tous les cas, lorsque celui qui fait usage d'une chaudière contestera la nécessité d'une nouvelle épreuve, il sera, après une instruction où celui-ci sera entendu, statué par le préfet.

L'intervalle entre deux épreuves consécutives ne doit pas être supérieur à dix années. Avant l'expiration de ce délai, celui qui fait usage d'une chaudière à vapeur doit lui-même demander le renouvellement de l'épreuve.

Toutefois, il peut être sursis à la réépreuve décennale, sur l'autorisation de l'ingénieur des mines, lorsqu'une association de propriétaires d'appareils à vapeur, agréée à cet effet par le ministre, certifie le bon état de l'appareil dans toutes ses parties.

ART. 4. — L'épreuve consiste à soumettre la chaudière à une pression hydraulique supérieure à la pression effective qui ne doit point être dépassée dans le service. Cette pression d'épreuve sera maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de la chaudière.

Toutes les parties de celle-ci doivent pouvoir être visitées.

Toutefois, pour les réépreuves sur le lieu d'emploi, l'ingénieur en chef aura la faculté d'autoriser les atténuations à cette règle, dans la mesure et sous les conditions précisées par les instructions du ministre.

Pour les appareils neufs et pour ceux ayant subi des changements notables ou de grandes réparations, la surcharge d'épreuve est égale, en kilogrammes par centimètre carré :

À la pression effective, avec minimum de un demi, si le timbre n'exécède pas 6 ;

A 6, si le timbre est supérieur à 6 sans excéder 20 ;

A 7, si le timbre est supérieur à 20 sans excéder 30 ;

A 8, si le timbre est supérieur à 30 sans excéder 40 ;

Au cinquième de la pression effective si le timbre excède 40.

Dans les autres cas, la surcharge d'épreuve est moitié de celle résultant des indications qui précèdent.

L'épreuve est faite sous la direction et en la présence de l'ingénieur ou du contrôleur des mines. Elle n'est pas exigée pour l'ensemble d'une chaudière dont les diverses parties, éprouvées séparément, ne doivent être réunies que par des tuyaux placés sur tout leur parcours en dehors du foyer et des conduits de flamme et dont les joints peuvent être facilement démontés.

Le chef de l'établissement où se fait l'épreuve fournit la main-d'œuvre et les appareils nécessaires à l'opération.

ART. 5. — Après qu'une chaudière ou partie de chaudière a été éprouvée avec succès, il y est apposé un ou plusieurs timbres indiquant, en kilogrammes par centimètre carré, la pression effective que la vapeur ne doit pas dépasser.

Les timbres sont poinçonnés et reçoivent trois nombres indiquant le jour, le mois et l'année de l'épreuve.

Un de ces timbres est placé de manière à être toujours apparent après la mise en place de la chaudière.

Toute chaudière neuve présentée à l'épreuve doit porter une plaque d'identité indiquant :

1° Le nom du constructeur ;

2° Le lieu, l'année et le numéro d'ordre de fabrication.

ART. 6. — Les réchauffeurs d'eau sous pression, les sècheurs et les surchauffeurs de vapeur sont considérés comme chaudières ou parties de chaudières pour tout ce qui est prescrit par les articles précédents.

ART. 7. — Chaque chaudière est munie de deux soupapes de sûreté, chargées de manière à laisser la vapeur s'écouler dès que sa pression effective atteint la limite maximum indiquée par le timbre réglementaire.

Chacune de ces soupapes doit suffire pour évacuer à elle seule et d'elle-même toute la vapeur produite, dans toutes les circonstances du fonctionnement, sans que la pression effective dépasse de plus de un dixième la limite ci-dessus.

Les mesures nécessaires doivent être prises pour que l'échappement de la vapeur ou de l'eau chaude ne puisse pas occasionner d'accident.

ART. 8. — Quand les réchauffeurs d'eau d'alimentation

seront munis d'appareils de fermeture permettant d'intercepter leur communication avec les chaudières, ils porteront une soupape de sûreté réglée eu égard à leur timbre et suffisante pour limiter d'elle-même et en toutes circonstances la pression au taux fixé par l'article 7.

Il en sera de même pour les surchauffeurs de vapeur à moins que les dispositions prises n'excluent l'éventualité d'une élévation de la pression au-dessus du timbre.

ART. 9. — Toute chaudière est munie d'un manomètre en bon état placé en vue du chauffeur et gradué de manière à indiquer en kilogrammes par centimètre carré la pression effective de la vapeur dans la chaudière.

Une marque très apparente indique sur l'échelle du manomètre la limite que la pression effective ne doit point dépasser.

La chaudière est munie d'un ajutage terminé par une bride de 4 centimètres de diamètre et 5 millimètres d'épaisseur disposée pour recevoir le manomètre vérificateur.

ART. 10. — Chaque chaudière est munie d'un appareil de retenue, soupape ou clapet, fonctionnant automatiquement et placé au point d'insertion du tuyau d'alimentation qui lui est propre.

ART. 11. — Chaque chaudière est munie d'une soupape ou d'un robinet d'arrêt de vapeur, placé, autant que possible, à l'origine du tuyau de conduite de vapeur, sur la chaudière même.

ART. 22. — Toute paroi en contact, par une de ses faces, avec la flamme ou les gaz de la combustion doit être baignée par l'eau sur sa face opposée.

Le niveau d'eau doit être maintenu, dans chaque chaudière, à une hauteur de marche telle qu'il soit, en toutes circonstances, à six centimètres au moins au-dessus du plan pour lequel la condition précédente cesserait d'être remplie. La position limite sera indiquée, d'une manière très apparente, au voisinage du tube de niveau mentionné à l'article suivant.

Les prescriptions énoncées au présent article ne s'appliquent point :

1° Aux sècheurs et surchauffeurs de vapeur à petits éléments distincts de la chaudière ;

2° A des surfaces relativement peu étendues et placées de manière à ne jamais rougir, même lorsque le feu est poussé à son maximum d'activité, telles que les tubes ou parties de cheminée qui traversent le réservoir de vapeur, en envoyant directement à la cheminée principale les produits de la combustion.

ART. 13. — Chaque chaudière est munie de deux appareils indicateurs du niveau de l'eau, indépendants l'un de l'autre et placés en vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation.

L'un au moins de ces appareils indicateurs est un tube en verre, disposé de manière à pouvoir être facilement nettoyé et remplacé au besoin.

Des précautions doivent être prises contre le danger provenant des éclats de verre en cas de bris des tubes, au moyen de dispositions qui ne fassent pas obstacle à la visibilité du niveau.

ART. 14. — Sur les groupes générateurs composés de deux ou de plusieurs appareils distincts, toute prise de vapeur correspondant à une conduite de plus de 50 centimètres carrés de section intérieure et par laquelle, en cas d'avarie à l'un des appareils, la vapeur provenant des autres pourrait refluer vers l'appareil avarié, est pourvue d'un clapet ou soupape de retenue, disposé de manière à se fermer automatiquement dans le cas où le sens normal du courant de vapeur viendrait à se renverser.

ART. 15. — Lorsqu'une chaudière est chauffée par les flammes perdues d'un ou plusieurs fours, tout le courant des gaz chauds doit, en arrivant au contact des tôles, être dirigé tangentiellement aux parois de cette chaudière.

A cet effet, si les rampants destinés à amener les flammes ne sont pas construits de façon à assurer ce résultat, les tôles exposées au coup de feu doivent être protégées, en face des débouchés des rampants dans les carnaux, par des murettes en matériaux réfractaires, distantes des tôles d'au moins 5 centimètres et suffisamment étendues dans tous les sens pour que les courants des gaz chauds prennent des directions sensiblement tangentielles aux surfaces des tôles voisines avant de les toucher.

ART. 16. — Sur toute chaudière à vapeur, ainsi que sur

tout réchauffeur d'eau, sécheur ou surchauffeur de vapeur, les orifices des foyers, les boîtes à tubes et les boîtes à fumée sont pourvues de fermetures solides, établies de manière à empêcher, en cas d'avarie, les retours de flamme ou les projections d'eau et de vapeur sur les ouvriers.

Dans les chaudières à tubes d'eau et les surchauffeurs, les portes de foyers et les fermetures de cendriers seront disposées de manière à s'opposer automatiquement à la sortie éventuelle d'un flux de vapeur. Des mesures seront prises pour qu'un semblable flux ait toujours un écoulement facile et inoffensif vers le dehors,

ART. 17. — La chambre de chauffe de toute chaudière et de tout surchauffeur à foyer doit être de dimensions suffisantes pour que toutes les opérations de la chauffe et de l'entretien courant s'effectuent sans danger. Elle doit offrir aux chauffeurs des moyens de retraite faciles dans deux directions, au moins. Elle doit être bien éclairée.

Les plates-formes des massifs doivent posséder des moyens d'accès aisément praticables. Tout travail à poste fixe est interdit sur ces massifs, sauf pour le service de la chaufferie.

La ventilation des locaux où sont installés les chaudières ou groupes générateurs doit être assurée, et de telle manière que la température n'y soit jamais exagérée.

ART. 18. — Les vases clos chauffés à feu nu dans lesquels l'eau est portée à une température de plus de 100 degrés, sans que le chauffage ait pour effet, de produire un débit de vapeur, sont considérés comme chaudières à vapeur pour l'application du présent règlement.

Toutefois, les appareils de sûreté obligatoires sur une chaudière de cette sorte sont seulement les suivants :

1° Deux soupapes de sûreté, conformément à l'article 7, dans le cas où la capacité de la chaudière excède 100 litres ; dans le cas contraire, une seule soupape, remplissant d'ailleurs les conditions stipulées audit article ;

2° Un manomètre et une bride de vérification remplissant les conditions prescrites à l'article 9 ;

3° Deux appareils indicateurs du niveau de l'eau, conformément à l'article 13, à moins que le mode d'emploi ne comporte nécessairement l'ouverture du vase entre les opéra-

tions successives auxquelles il sert. Dans ce cas, il peut n'y avoir qu'un seul appareil indicateur du niveau de l'eau et cet appareil peut être réduit à un robinet de jauge, placé de manière à donner de l'eau tant que la condition de l'article 12 est remplie.

TITRE II

Etablissement des chaudières à vapeur placées à demeure.

ART. 19. — Toute chaudière destinée à être employée à demeure ne peut être mise en service qu'après une déclaration adressée par celui qui fait usage du générateur au préfet du département. Cette déclaration est enregistrée à sa date. Il en est donné acte. Elle est communiquée sans délai à l'ingénieur en chef des mines.

ART. 20. — La déclaration fait connaître avec précision :

1° Le nom et le domicile du vendeur de la chaudière ou l'origine de celle-ci ;

2° Le nom et le domicile de celui qui se propose d'en faire usage ;

3° La commune et le lieu où elle est établie ;

4° La forme, la capacité et la surface de chauffe ;

5° Le numéro du timbre réglementaire ;

6° Un numéro distinctif de la chaudière, si l'établissement en possède plusieurs ;

7° Enfin le genre d'industrie et l'usage auquel elle est destinée.

Tout changement dans l'un des éléments déclarés entraîne l'obligation d'une déclaration nouvelle.

ART. 21. — Les chaudières et les groupes générateurs se classent, sous le rapport des conditions d'emplacement, en trois catégories.

Cette classification a pour base le produit $V(t - 100)$, où t représente, en degrés centigrades, la température de vapeur saturée correspondant au timbre de la chaudière, conformément à la table annexée au présent décret, et où V désigne, en mètres cubes, la capacité de la chaudière, y compris ses

réchauffeurs d'eau et ses surchauffeurs de vapeur, mais abstraction faite des parties de cette capacité qui seraient constituées par des tubes ne mesurant pas plus de 10 centimètres de diamètre intérieur, ainsi que par les pièces de jonction entre ces tubes n'ayant pas plus de 1 centimètre carré de section intérieure.

Lorsque plusieurs chaudières sont disposées de manière à pouvoir desservir une même conduite de vapeur, on forme la somme des produits ainsi définis, mais en ne comptant qu'une fois les réchauffeurs ou surchauffeurs communs.

Une chaudière ou un groupe générateur est de première catégorie quand le produit caractéristique ainsi obtenu excède 200, de deuxième quand il n'excède pas 200, mais excède 50, de troisième quand il est égal ou inférieur à 50.

ART. 22. — Les chaudières ou les groupes générateurs compris dans la première catégorie doivent être en dehors de toute maison d'habitation et de tout bâtiment fréquenté par le public. Ils doivent également, à moins que la nature de l'industrie ne s'y oppose, être en dehors de tout atelier occupant, à poste fixe, un personnel autre que celui des chauffeurs, des conducteurs de machines et de leurs aides. En aucun cas, les locaux où se trouvent ces appareils ne doivent être surmontés d'étages ; toutefois, on ne considère pas comme un étage, au-dessus de l'emplacement d'une chaudière, une construction dans laquelle ne se fait aucun travail nécessitant la présence d'un personnel à poste fixe.

ART. 23. — Une chaudière ou un groupe générateur de première catégorie doit être au moins à 3 mètres de toute maison d'habitation et de tout bâtiment fréquenté par le public.

Lorsqu'une chaudière ou un groupe de première catégorie est placé à moins de 10 mètres d'une maison d'habitation ou d'un bâtiment fréquenté par le public, il en est séparé par un mur de défense.

Ce mur, en bonne et solide maçonnerie, est construit de manière à défilier la maison ou le bâtiment par rapport à tout point de la chaudière ou de l'une quelconque des chaudières distant de moins de 10 mètres, sans toutefois que sa hauteur dépasse de plus d'un mètre la partie la plus élevée

de la chaudière. Son épaisseur est égale au tiers au moins de sa hauteur, sans que cette épaisseur puisse être inférieure à un mètre en couronne. Il est séparé du mur de la maison voisine ou du bâtiment assimilé par un intervalle libre de 30 centimètres de largeur au moins.

Les distances de 3 mètres et de 10 mètres, fixées ci-dessus, sont réduites respectivement à 1^m,50 et à 5 mètres, lorsque la chaudière est installée de façon que la partie supérieure de ladite chaudière se trouve à 1 mètre en contre-bas du sol, du côté de la maison voisine ou du bâtiment assimilé.

ART. 24. — Une chaudière ou un groupe générateur appartenant à la deuxième catégorie doit être en dehors de toute maison habitée et de tout bâtiment fréquenté par le public.

Toutefois, cette chaudière ou ce groupe peut être dans une construction contenant des locaux habités par l'industriel, ses employés, ouvriers et serviteurs et par leurs familles, à la condition que ces locaux soient séparés des appareils, dans toute la section du bâtiment, par un mur en solide maçonnerie de 45 centimètres au moins d'épaisseur, ou que leur distance horizontale soit de 10 mètres au moins de la chaudière ou du groupe.

TITRE III

Chaudières locomobiles.

ART. 25. — Sont considérées comme locomobiles les chaudières à vapeur qui peuvent être transportées facilement d'un lieu dans un autre, n'exigent aucune construction pour fonctionner sur un point donné et ne sont employées que d'une manière temporaire à chaque station.

ART. 26. — Les dispositions du titre I^{er} sont applicables aux chaudières locomobiles, sauf les modifications suivantes :

1^o Le cas d'une nouvelle installation prévu à l'article 3 est remplacé pour les locomobiles par le cas d'un changement de propriétaire ;

2^o L'intervalle de dix années, mentionné au même article

3, est réduit à cinq ans pour les locomobiles, à moins que ces appareils ne fonctionnent exclusivement dans les limites d'un même établissement ou ne soient affectés à un service public soumis à un contrôle administratif.

ART. 27. — Chaque chaudière porte une plaque sur laquelle sont inscrits, en caractères indélébiles et très apparents, le nom et le domicile du propriétaire et un numéro d'ordre, si ce propriétaire possède plusieurs chaudières locomobiles.

ART. 28. — Toute chaudière locomobile doit être, avant sa mise en service, l'objet d'une déclaration adressée par le propriétaire de l'appareil au préfet du département dans lequel ce propriétaire est domicilié. Les prescriptions des articles 19 et 20 s'appliquent à ce cas, sauf remplacement des indications de l'article 20, numérotées 2, 3 et 6, par celles mentionnées à l'article 27.

L'ouvrier chargé de la conduite devra représenter à toute réquisition le récépissé de cette déclaration.

TITRE IV

Chaudières des machines locomotives.

ART. 29. — Les machines à vapeur locomotives sont celles qui, sur terre, travaillent en même temps qu'elles se déplacent par leur propre force, telles que les machines des chemins de fer et des tramways, les machines routières, les rouleaux compresseurs, etc.

ART. 30. — Les dispositions du titre I^{er} modifiées par l'article 26 sont applicables aux chaudières des machines locomotives. Ces machines doivent être pourvues de la plaque prescrite par l'article 27.

ART. 31. — Les dispositions de l'article 28, paragraphe I^{er}, s'appliquent également à ces chaudières.

ART. 32. — La circulation des machines locomotives a lieu dans les conditions déterminées par des règlements spéciaux.

TITRE V

Récipients.

ART. 33. — Sont soumis aux dispositions suivantes les récipients de formes diverses, d'une capacité de plus de 100 litres, qui reçoivent de la vapeur d'eau empruntée à un générateur distinct. Sont exceptés toutefois :

1° Ceux dans lesquels des dispositions matérielles efficaces empêchent la pression effective de cette vapeur de dépasser 300 grammes par centimètre carré ;

2° Les cylindres de machines, avec ou sans enveloppes, les enveloppes de turbines, les tuyauteries.

ART. 34. — Ces récipients sont soumis aux épreuves et assujettis à la déclaration, soit conformément aux articles 2 et 5, et aux articles 19 et 20, s'ils sont installés à demeure, soit conformément aux articles 26 et 28, s'ils sont mobiles. Dans ce dernier cas, l'article 27 leur est applicable.

ART. 35. — Tout récipient, dont le timbre n'est pas au moins égal à celui de la chaudière ou des chaudières dont il dépend, doit être garanti contre les excès de pression par une soupape de sûreté si sa capacité est inférieure à 1 mètre cube, ou par deux soupapes de sûreté si sa capacité atteint ou dépasse 1 mètre cube. Cette soupape ou ces soupapes doivent remplir, par rapport au timbre du récipient, les conditions fixées à l'article 7.

Elles peuvent être placées, soit sur le récipient lui-même, soit sur le tuyau d'arrivée de la vapeur, entre le robinet et le récipient.

ART. 36. — Lorsqu'un récipient ou un groupe de récipients formant un même appareil doit, en vertu de l'article 35, être muni d'une ou de deux soupapes de sûreté, il doit également être muni d'un manomètre et d'un ajutage remplissant les conditions spécifiées à l'article 9.

ART. 37. — Un récipient est considéré comme n'ayant aucun produit caractéristique, s'il ne renferme pas normalement d'eau à l'état liquide et s'il est pourvu d'un appareil de purge fonctionnant d'une manière efficace et évacuant l'eau de condensation à mesure qu'elle prend naissance. S'il n'en

est pas ainsi, son produit caractéristique est le produit $V(t - 100)$ calculé comme pour une chaudière.

Un récipient, installé à demeure, dont le produit caractéristique excède 200, doit être en dehors de toute maison habitée et de tout bâtiment fréquenté par le public.

TITRE VI

Dispositions générales.

ART. 38. — Le ministre peut, sur le rapport des ingénieurs des mines, l'avis du préfet et celui de la commission centrale des machines à vapeur, accorder dispense de tout ou partie des prescriptions du présent décret, dans le cas où il serait reconnu que cette dispense ne peut pas avoir d'inconvénient.

ART. 39. — Les chaudières et récipients à vapeur en activité, ainsi que leurs appareils et dispositifs de sûreté, doivent être constamment en bon état d'entretien et de service.

La conduite des chaudières à vapeur ne doit être confiée qu'à des agents sobres et expérimentés.

L'exploitant est tenu d'assurer en temps utile les nettoyages, les réparations et les remplacements nécessaires.

A l'effet de reconnaître l'état de chaque appareil à vapeur et de ses accessoires, il doit faire procéder, par une personne compétente, aussi souvent qu'il est nécessaire et au minimum une fois chaque année, à l'examen défini à l'article 40.

Cet examen doit, notamment, avoir lieu dans chacun des cas mentionnés à l'article 3.

Lorsque l'appareil arrive à l'expiration de la période décennale ou quinquennale visée aux articles 3 et 26, il doit être procédé au dit examen, soit préalablement à l'octroi du sursis prévu par ces articles, soit, si l'épreuve a lieu, aussitôt après cette épreuve.

ART. 40. — L'examen consiste dans une visite complète de l'appareil, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Le visiteur dresse, de chaque examen, un compte rendu mentionnant les résultats de l'examen et les défauts qui auraient été constatés. Ce compte rendu, daté et signé par le

visiteur, doit être représenté par l'exploitant à toute réquisition du service des mines.

En ce qui concerne les appareils dont le délai de réépreuve périodique est fixé à cinq années par les articles 26, 30 et 34, l'exploitant est tenu d'envoyer en communication à l'ingénieur des mines chaque compte rendu d'examen dressé conformément aux dispositions qui précèdent.

ART. 41. — L'exploitant doit tenir un registre d'entretien, où sont notés à leur date, pour chaque appareil à vapeur, les épreuves, les examens intérieurs et extérieurs, les nettoyages et les réparations. Ce registre doit être coté et paraphé par un représentant de l'autorité chargée de la police locale. Il est présenté à toute réquisition des fonctionnaires du service des mines.

ART. 42. — Les appareils mobiles sont assujettis aux mêmes conditions d'emplacement que les appareils fixes, lorsqu'ils restent pendant plus de six mois installés pour fonctionner sur le même emplacement.

ART. 43. — Les conditions fixées par les articles 7 et 12, ainsi que celles relatives à l'emplacement des chaudières et des récipients, ne sont pas applicables aux appareils installés ou mis en service avant la promulgation du présent décret et satisfaisant, sur ces points, aux règlements antérieurs.

ART. 44. — Les contraventions au présent règlement sont constatées, poursuivies et réprimées conformément aux lois.

ART. 45. — En cas d'accident ayant occasionné la mort ou des blessures, le chef de l'établissement doit prévenir immédiatement le maire de la commune et l'ingénieur des mines chargé de la surveillance. L'ingénieur se rend sur les lieux, dans le plus bref délai, pour visiter les appareils, en constater l'état et rechercher les causes de l'accident. Il rédige sur le tout :

1° Un procès-verbal des constatations faites qu'il adresse à l'ingénieur en chef et que celui-ci fait parvenir au procureur de la République avec son avis ;

2° Un rapport qui est adressé au préfet, par l'intermédiaire et avec l'avis de l'ingénieur en chef.

Si l'ingénieur des mines délègue le contrôleur subdivisionnaire des mines pour se rendre sur les lieux, ce dernier éta-

blit et signe le procès-verbal et le rapport. Il les adresse à l'ingénieur des mines et celui-ci les transmet avec ses observations à l'ingénieur en chef, qui procède comme il est dit ci-dessus.

En cas d'accident n'ayant occasionné ni mort ni blessure, le chef de l'établissement n'est tenu de prévenir que l'ingénieur des mines. L'enquête est faite sur place par l'ingénieur ou, par délégation de l'ingénieur, par le contrôleur subdivisionnaire. L'ingénieur ou le contrôleur qui a procédé à l'enquête rédige un rapport qui est adressé au préfet comme dans le premier cas.

En cas d'explosion, les constructions ne doivent point être réparées et les fragments de l'appareil rompu ne doivent point être déplacés ou dénaturés avant la constatation de l'état des lieux par l'ingénieur.

ART. 46. — Par exception, le ministre pourra confier la surveillance des appareils à vapeur aux ingénieurs ordinaires et aux conducteurs des ponts et chaussées, sous les ordres de l'ingénieur en chef des mines de la circonscription.

ART. 47. — Les appareils à vapeur qui dépendent des services spéciaux de l'Etat sont surveillés par les fonctionnaires et agents de ces services.

ART. 48. — Les attributions conférées aux préfets des départements par le présent décret sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue de son ressort.

ART. 49. — Sont rapportés les décrets du 30 avril 1880 et du 29 juin 1886.

ART. 50. — Le ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* et inséré au *Bulletin des lois*.

Fait à Rambouillet, le 9 octobre 1907.

A. FALLIÈRES.

Par le Président de la République :

Le ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes,

LOUIS BARTHOU.

TABLE

donnant la température (en degrés centigrades) de l'eau correspondant à une pression donnée (en kilogrammes effectifs)

0 ^k ,5	111°	5 ^k ,5	161°	10 ^k ,5	185°	15 ^k ,5	202°
1, 0	120	6, 0	164	11, 0	187	16, 0	203
1, 5	127	6, 5	167	11, 5	189	16, 5	205
2, 0	133	7, 0	170	12, 0	191	17, 0	206
2, 5	138	7, 5	173	12, 5	193	17, 5	208
3, 0	143	8, 0	175	13, 0	194	18, 0	209
3, 5	147	8, 5	177	13, 5	196	18, 5	210
4, 0	151	9, 0	179	14, 0	197	19, 0	211
4, 5	155	9, 5	181	14, 5	199	19, 5	213
5, 0	158	10	183	15, 0	200	20, 0	214

TAXES

applicables aux épreuves réglementaires
des appareils à vapeur.

(Loi du 18 juillet 1892).

ART. 6. — A partir du 1^{er} janvier 1893 les épreuves, exigées par les règlements, des appareils à vapeur autres que ceux situés dans l'enceinte des chemins de fer d'intérêt général donneront lieu à la perception pour chaque épreuve d'un droit de dix francs par chaudière et de cinq francs par récipient de vapeur.

Ce droit sera dû par la personne qui aura demandé l'épreuve ou à qui l'épreuve aura été imposée par l'application des règlements.

Il sera ajouté au montant du droit d'épreuve : 1° cinq centimes par franc pour fonds de non-valeurs ; 2° trois centimes par franc pour frais de perception.

ART. 7. — Les droits fixés par l'article précédent seront recouvrés comme en matière de contribution directe. Ils seront perçus au moyen de rôles dressés à la fin de chaque

trimestre par le Directeur des Contributions directes, au vu d'états matrices établis par l'Ingénieur des Mines ou par le Président de la Commission de surveillance des bateaux à vapeur, et arrêtés par le Préfet ; le montant en sera exigible en une seule fois dans les quinze jours de la publication du rôle.

Il sera délivré des avertissements aux redevables à raison de cinq centimes par article.

Les réclamations seront jugées comme en matière de contribution directe.

.

**Règlement concernant les appareils à vapeur
des bateaux naviguant dans les eaux maritimes.**

(Décret du 1^{er} février 1893).

**Contraventions aux règlements
sur les appareils et bateaux à vapeur.**

(Loi du 21 juillet 1856, modifiée par la loi du 18 avril 1900).

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- ANONYME. 1. *The Engineer* année 1896. La circulation dans les chaudières.
— 2. Rapport de la commission militaire de l'exposition de 1900.
— 3. *Bulletin de la société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, n^{os} de novembre 1908. Coups d'eau dans les chaudières. Notes de mécanique.
- ABRAHAM. *Annales des Mines*. 9^e série, t. XIX, p. 323.
- BAUDOIN. *La surchauffe de la vapeur*. Bibliothèque du mois scientifique et industriel. Dunod, éd.
- BELLENS. 1. *Traité des chaudières à vapeur*.
— 2. *Les Chaudières à vapeur pour l'Industrie et la Marine. La Mécanique à l'Exposition*. Dunod, éd.
- BERTIN. Rapport publié par le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*. Juin 1908.
- BOURREY. E. S. *L'eau dans l'industrie*.
- BRULL. *Revue de Mécanique*. Janvier 1902.
- BRILLIÉ. 1. *Génie civil*, Décembre 1897 et octobre 1899.
2. *Congrès de Mécanique appliquée de 1900*.
- COMPÈRE. *Revue technique de l'Exposition universelle de 1900*.
- CORDIER. *Cours de moteurs de la Division technique de l'artillerie*. Lithographie de l'école d'application de l'artillerie et du génie.
- CHASSELOUP LAUBAT. La circulation dans les chaudières. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*. Avril 1897.
- IZART. *Méthodes économiques de combustion dans les chaudières à vapeur*. Dunod et Pinat, 1908.
- JOUGUET. 1. *Moteurs Thermiques*. E. S.
2. La Mécanique au Congrès de Liège. *Bulletin trimestriel de la Société de l'Industrie Minérale*. St-Etienne. 1906.
- JACOMET. *Revue technique de l'Exposition universelle de 1900*.

- LEBLANC (Maurice). 1. Note sur la condensation. *Lumière électrique*.
N° du 13 juin 1908.
- 2. Note sur la condensation. *Lumière électrique*.
N° du 20 juin 1908.
- MORITZ et RAYMOND. *Annales des Mines*, 9^e série, t. XII, p. 513 et 533.
- MENGIN (C^t). *Rapport au Congrès de Mécanique appliquée de 1900*.
- NADAL. 1. *Locomotives à vapeur*. E. S.
- 2. Etude des condenseurs. *Revue de Mécanique*. 1901.
- 3. *Rapport au Congrès international de Mécanique appliquée de 1900*.
- NEILSON. La surchauffe et ses applications. *Bulletin de la Société d'Encouragement*.
- POINCARÉ L. *La Physique moderne. Son évolution*. E. Flammarion.
- RATEAU. Notice sur le développement des turbines à vapeur d'échappement. Imp. Lesigne. Bruxelles.
- Annales des Mines*, 9^e série, t. II. 1897. p. 506.
- ROSSET. *Génie civil*. N° du 21 décembre 1907, p. 123.
- SAUVAGE. 1. *Annales des Mines*, 10^e série, t. I. p. 81. 1902. Dunod.
- 2. *La machine à vapeur*, II, p. 490-495. Béranger.
3. Revue de la construction des machines en 1900. *Annales des Mines*, 10^e série. 1902.
- SER. *Traité de Physique industrielle*, t. II, p. 179. Masson.
- VIGNERON. *La Technique moderne*, n° 4, page 160.
- WALCKENAER. 1. Les assemblages dans la construction des chaudières à tubes d'eau. *Annales des Mines*, 9^e série, vol. 19. p. 70. 1901.
- 2. *Congrès international de Mécanique appliquée en 1900*.

TABLE DES FIGURES

figures		pages		
1	Production des vapeurs	7		
2	Diagramme de la vaporisation de l'eau	12		
3	Cycle fermé	15		
4	Valeurs des quantités de chaleur correspondant à la vaporisation de l'eau	20		
5	Cycles de transformation	30		
6	Transformations isothermiques	31		
7	» adiabatiques	33		
8	Cycle de Carnot, gaz et vapeurs surchauffées	38		
9	» vapeur saturée	39		
10	Diagramme entropique de la vapeur d'eau	42		
11	Détente sans travail	51		
12	Appareil Orsat	85		
13	Economètre Baillet	87		
14	Indicateur de fumée	92		
15	Echelle d'intensité de la fumée	93		
16	Grille Tailfer	95		
17	Foyer Biérix Leflaive et Cie	97		
18	» Créceveur	99		
19	» Hinstin	101		
20	» Maronnier	103		
21	}	Foyer Idéal. Ejecteur, fumivore et aérifère	105	108
22				
23				
24	Disposition des gaines de fumée	112		
25	Tirage par aspiration système Prat	114		
26	Emulseur Dubiau	121		
27	Circuit de circulation simple	124		
28	» » complexe	125		
29	Chaudière « Lancashire »	130		
30	Chambre ovale de chaudière Galloway	131		

figures		pages
31	Locomotive Weyher et Richmond	234
32	Chaudière à tubes concentriques au foyer Weyher et Richmond	139
33	Chaudière à foyer intérieur — type Creusot —	140
34	Circulation dans les chaudières à tubes d'eau	146
35	» » » »	147
36	Chaudière de Naeyer	149
37	» Babcock et Wilcox	150
38	» Buttner à grand volume	153
39	» Fouché	155
40	» Oosterwyck	159
41	Tube genre Nielausse	162
42	id. id.	163
43	} Chaudière Nielausse	165
47		172
48	Chaudière Belleville	174
49	id. id.	178
50	Chaudière à petits tubes d'eau	180
51	» Yarrow	181
52	» Thornycroft	183
53	» Du Temple	185
54	» Weyher et Richmond	189
55 à 58	Chaudière Grille à tuyères Solignac	191
59	Chaudière Field	200
60	Chaudière Montupet	201
61	Chaudière Turgan	203
62	» en X système Borrot	207
63	» Mathian à tubes Field et à flamme renversée.	311
64	» Serpellet	213
65	» Morriu Climax	214
66	» Meurisse	218
67	Accumulateur régénérateur de M. Rateau	223
68	» » » »	224
69	Disposition des éléments du surchauffeur Schmidt	234
70 à 79	Surchauffeurs divers : Heizmann, Cruse, Héring, Lellaive et Cie, Montupet, Schmidt, Badère, Czamatolski, Watkinson	235
		247

figures		pages
80	Locomobile à vapeur surchauffée	248
81	Chaudière Niclausse avec économiseur et surchauffeur	255
82	» Leflaive et Cie avec économiseur et sur- chauffeur	256
83	Economiseur Green	258
84	Réchauffeur d'eau Biatrix Leflaive et Cie	259
85 à 87	Epurateur système Desrumaux	266
88	Epurateur Buron — à réactifs —	273
89	» — à vapeur d'échappement —	274
90	Epurateur Granddemange	276
91	Epurateur Howatson	277
92	Détartreur Howatson	280
93	Epurateur Dervaux	281
94	Epurateur Steinmuller	282
95	Réchauffeur détartreur Chevalet	283
96	Détendeur de vapeur	288
97	Petit cheval alimentaire Belleville	296
98	} Injecteur Giffard	301
99		
100	Injecteur double Hancock	306
101	Bouteille alimentaire	308
102	Appareil Gehre	317
103	Appareil Barrus	319
104	Diagramme entropique de la méthode Barrus	320
105	Appareil Rateau	323
106	Appareil Rosset	326
107	Manomètre Bourdon	} 339
108	» Guichard	
109	» Challeton	} 340
110	» Desbordes	
111	» Ducomet	} 341
112	» enregistreur Bourdon	
113	» tronqué	343
114	Appareil à tarer les manomètres	344
115	Indicateur à tube de verre et à barillet	447
116	Niveau Heurley	348
117	» épurateur Foucault	} 349
118	Indicateur à robinets	

figures	pages
119 Flotteur Bourdon	350
120 Indicateur glace	} 351
121 Indicateur magnétique	
122 Appareil Planche	
123 » Renaux et Bonpain	
124 Sifflet d'alarme	352
125 Soupape Codron	356
126 » Maurel Truel et Cie	} 357
127 » Castelnau	
128 Position des clapets automatiques de retenue de vapeur	} 859
129 Clapet Labeyrie	
130 » double système Carette	360
131 Robinet à clapet	361
132 Clapet d'alimentation Jethuillier Pinel	} 362
133 » » Herdevin	
134-135 Vannes de prise de vapeur	363
136 Purgeur automatique à flotteur	367
137 » » à dilatation	} 368
138 » » système Geipel	
139 Coups d'eau dans les conduites de vapeur	370
139 bis » » » »	372
140 Diagrammes à échappement libre et à condensation	381
141 Condenseur à mélange	385
142 Condenseur du Creusot	390
143 Pompe à vide humide	391
144 » » Edwards	393
145 Condenseur barométrique Weiss	398
146 » à surface — dispositions schématiques	400
147 Aérocondenseur Fouché	402
148 Ejecto-condenseur	407
149 Condenseur automoteur Weyher et Richemond	408
150 Pompe à éjecteur système Parsons	417
151-152 Pompe Leblanc	415 416
153 Application de la pompe Leblanc au condenseur à surface	418
154 Applications des pompes système Leblanc	419

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES

	Pages		Pages
Accumulateur régénérateur de M. Ratcau	220	BARRUS	319
Activité de la combustion	60	BAUDOUIN	231
ADAMS. Soupape	356	BECKER	229
Adiabatiques (courbes)	33	BELLENS 124	126
Ados	85	BELLEVILLE . . 173, 288	295
Aéro condenseur Fouché.	402	BERENDORF	137
ALLEST (D')	157	BERTIN 151	217
Alimentation des chaudières	290	BIETRIX LEFLAIVE et Cie	243
Analyseurs de gaz	83	96, 153, 241	243
Appareil Orsat	85	BLACKE	397
Appareils alimentaires	300	BONPAIN	353
— (comparaison entre les divers)	308	BORROT	207
Application de la pompe Leblanc	417	BOURDON . . . 151, 339	345
Applications 23, 35, 56, 137, 374, 375	387	BOURREY 263	281
ARNDT	58	Bouteille alimentaire	306
ARQUEMBOURG	244	BRILLIÉ	125
Atmosphère	7	Brûleur Kœrting	70
Autel	74	BUCHET 272	279
AUDEMAR GUYON. Pompe.	299	BURON 272	274
BABCOCK et WILCOX. Chaudière	148	BUTTNER 153	256
BACH	28	CADISH	246
BADÈRE. Surchauffeur	246	CAHOURS	26
BAILLET	86	Calorie	6
BALCKE 298	421	Calorimètre à eau	80
		» à glace	81
		Caractéristiques d'une chaudière	56
		CARNOT (cycle de)	36
		— (principe de)	39
		CARPENTER	28

454 TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES

	Page*		Pages
CABETTE	360	Chaudière Belleville 173	177
CASTELNAU	357	— Borrot	207
Casse vide	397	— Bourdon	151
Cendrier	75	— Buttner	143
Chaleur latente de vapo- risation 13	15	— Climax	243
Chaleur totale de vapo- risation	14	— Creusot (du)	140
Chaleur interne	15	→ Cornouailles (de)	129
— externe	15	— Du Temple	184
— sensible	11	— Du Temple-Guyot	187
— spécifique va- peur surchauffée	26	— écossaise	133
CHALLETON	340	— express	180
Charbon pur	59	— Field	199
Chaudières (classification)	127	— Fouché	156
— à grands corps	129	— Francq	219
— à bouilleurs	129	— Galloway	130
— à tubes de fu- mée	132	— Grille	190
Chaudière à { gr. tubes	145	— Honigmann,	220
tubes d'eau. { pet. tubes	180	— Lagrafel et d'Allest	157
Chaudière à circuit com- posé simple	145	— Lancashire	129
— à lame d'eau	153	— locomotive	135
— à circuit com- posé simple avec retour in- térieur	160	— Mathot	156
Chaudière à { gr. tubes	173	— Mathian	210
serpentin. { pet. tubes	212	— Meurisse	217
Chaudière à circulations indépendantes	158	— Montupet	201
— sans foyer	219	— Morrin climax	214
— mixtes	180	— Maeyer (de)	148
— d'Allest	157	— Niclaussé 161	167
— Babcock et Wilcox	148	— Oosterwyck (van)	158
		— Roser 148	219
		— Serpollet	212
		— Thornycroft	183
		— Turgan	202
		— Weyher et Richemond 133, 138, 141	188
		— Yarrow	181
		Choix des chaudières (considérations sur le).	310
		Chevalet	282

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES 455

	Pages		Pages
CADISH. Surchauffeur	264	Condenseur par mélange	
CARETTE. Clapet automa-		378, 384.	418
tique	360	Condenseur à surface 378,	
CASTELNAU. Soupape	357	399	417
Chambre de combustion	74	Condenseur(classification)	378
Circulation dans les chau-		— (organisation).	385
dières	123	— (volume pompe à air)	387
Clapets d'alimentation	362	— (eau nécessaire)	386
— Lethuillier Pinel	362	— température de fonc-	
— Herdevin	362	tionnement	395
Clapet automatique de		— amorçage	396
retenu de vapeur :		— volume	395
— Labeurie	359	— (air à évacuer)	388
— Carette	360	— barométrique	380
— Muller et Roger	361	— Balcke	398
— Pasquier	360	— Blake	397
CLAPEYRON (équation de)	18	— Fraser	405
CLAUSIUS.	37	— Kolb	414
CLÉMENT et DESORMES.	27	— Ledward	405
Coefficient de vaporisation	57	— Schneider et C ^{ie}	391
CODRON. Soupape	356	— vapoiseurs	379
Combustion (activité de la)	60	— Weiss	398
Combustibles	62	Condenseurs pour tur-	
— (classification		bines	410
des)	63	Condenseurs centraux	
— (essais des)	68	indépendants	408
— solides	62	Condensation (utilité de la)	381
— liquides	69	Conduites de vapeur (or-	
— gazeux	72	ganisation).	364
— (pouvoir ca-		— (calcul des).	374
lorifique		CORNUT. (formule de).	66
des)	65	Courbe isothermique.	31
COMPÈRE	329	— adiabatique	31
Compression adiabatique.	34	— de saturation	46
Comparaison entre les di-		— limite	14
vers genres d'appareils		Coups d'eau dans les con-	
alimentaires	308	duites	369
Condenseurs	377	CRÉVEUR. (foyer)	98

456 TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES

	Pages		Pages
CRUSE. Surchauffeur	238	DUJARDIN. Condenseur	397
Considérations sur le choix des chaudières	310	DULAC	356
Creusot. Chaudière à foyer intérieur Schneider	140	Du Temple (chaudière)	185
Creusot. Condenseur Schneider	390	Eau de primage. (détermination). Méthode Gehre	317
Cycle fermé	15	— Barrus	319
— réversible	36	— calorimé- trique	313
— irréversible	41	— densimétrique	325
CZAMATOLSKI	244	— Rateau	322
DAMOUMETTE	347	— chimique	315
DECLERQ.	279	Eau de primage à tolérer	328
Décret du 7 octobre 1907	430	Economètre Krell Schultze	86
— 1 février 1893	446	— Baillet	86
Défecteur	135	— Ados	85
DELHOTEL (épurateur).	281	— Arndt	85
DENFER (formule).	354	Economiseurs	149
DERVAUX	281	— Green	258
DESBORDES	340	EDWARDS (pompe).	393
DÉSORMES	27	Ejecteur	305
DESUMAUX	265	Ejecto-Condenseurs	379
Degré de vide	8	Emploi de la houille	82
Densité de la vapeur saturée. réc.	19	— des réactifs absorbants	84
Densité de la vapeur surchauffée	26	Emploi de l'oxyde de cuivre	83
Désincrustant	284	Emploi des économètres	85
Détartreur Howatson	279	Emulseur Dubiau	121
Détartreur réchauffeur Chevalet	282	Energie interne	11
Détendeur de vapeur	287	Entropie.	43
— Belleville	288	Epurateur Steinmuller.	239
Détente adiabatique sans travail moteur.	51	— Kennicott	274
Diagramme entropique	42	Epuration des eaux d'alimentation	261
DUBIAU	121	Epuration des eaux par la chaleur	262
DUCOMET	341	Epuration des eaux au	

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES 457

	Pages		Pages
moyen de réactifs . . .	263	FOUCHÉ	155
Epurateurs :		Foyers fumivores :	
système Granddemange	275	— Meldrum	110
— Howatson	277	— Biétriix-Leslaive et	
— Dervaux	281	Cie	90
— Buron	272	Foyer Idéal	105
— Lemaire	282	— Créceveur	98
— Lencauchez	284	— Maronnier	103
— Steinmuller	282	— Hinstin	100
— Kennicot	274	— Poillon	110
— Langumier et		— Tailfer	94
Bruchot	272	FRANCO (DE). Chaudière .	219
Epurateur Delhotel . . .	281	FRASER. Condenseur . . .	405
— Declerq	279	FRIEDMANN	209
Epurateur système Des-		Fumivorté des foyers . . .	87
rumaux	265	GALLOWAY	130
Equivalence (Principe		GAY LUSSAC (loi de) . . .	25
de l')	16	Gaz parfaits (équation ty-	
Equivalent mécanique de		pique)	25
la chaleur	16	GERRE	317
Equivalent calorifique du		GEIPEL	368
travail	16	GIFFARD. Injecteur	300
Equation typique 15, 19	25	GLACE	351
Essai de vaporisation . . .	312	GOUTAL. Formule	67
— de chaudières	311	GRAHAM	59
— des combustibles	68	GRANDDEMAÏGE	275
— (procès verbal d')	329	GREEN. Economiseur	258
— de détermination de		« Grille » chaudière	191
l'eau de primage.	313	Grille	73
Etat physique d'un corps	15	Grille Tailfer	94
Evolution de la vapeur sous		Grille Kudlicz	109
l'action de la chaleur 11	48	Grille Hinstin	100
Ewing	28	Grille à persiennes syst.	
FÉRY. Lunette pyromé-		Poillon	99
trique	79	Grille à alimentation	
FIELD. Chaudière	199	continue	94
FOUCAULT. Niveau épura-		GRINDLEY	28
teur	348	GROUVELLE et ARQUEM-	

458 TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES

	Pages		Pages
BOURG. Surchauffeur	244	Injecteurs Friedmann	308
GUICHARD	338	— Giffard	300
GUYOT	187	— Hancock	307
HAMER	307	— Hamer	307
HANCOCK. Injecteur	207	— Koerting	309
HATELEY.	229	— Manlove	307
HERDEVIN	362	— Metcalfe	307
HERING 239	244	— multiples	307
HEURLEY. Niveau	348	— Sellers	307
HEIZMANN. Surchauffeur	246	— Turck	307
HIRN,	229	Isothermes (courbes)	31
Historique de la surchauffe	228	JOULE (loi de)	125
HONIGMANN. Chaudière, sans foyer	220	JACOMET	267
Houilles grasses, maigres	64	JOUGUET E. 62, 119, 293	377
HOWATSON 277	279	KENNICOT (épurateur).	274
Hydrokineter	121	KLEBE 19	28
Incinération sur grille	68	KNOBLAUCH 19	28
(essai d')	68	KOLB. Condenseur	414
Indicateurs de niveau	345	KÖRTING 70, 307	413
— à robinets	349	KRELL SCHULTZE	86
— à flotteurs	350	KUDLICE (grille)	109
— à tubes de verre	346	Lois régissant les gaz par- faits	25
— à tubes de verre et à ba- rillet	347	Loi de Mariotte	25
Indicateur de fumée	92	— Gay-Lussac	25
— magnétique	351	— Joule	25
— Bourdon 349	350	LABEYRIE (clapet)	359
— Foucault	348	LAGRAVEL et D'ALLEST	159
— Glace	351	LANGUMIER et BUCHET, 272	279
— Heurley	348	LAPLACE (équation de)	27
— Planche	352	LEBLANC (Maurice), 379, 380, 401, 411, 413, 414	419
— Renaux et Bom- pain	352	LE CHATELIER. Pyromètre	79
— Vaultier	348	LEDoux	376
Injecteurs	300	LEDWARD. Condenseur	405
		LEMAIRE	282
		LENGAUCHEZ	284
		LENOBLE (formule de).	67

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES 459

	Pages		Pages
LETHUILLIER et PINEL	362	de retenue de vapeur	360
LINDE	19	MUSGRAVE. Surchauffeur	239
Loi du 18 juillet 1892	445	NADAL 71, 74, 135	346
Laboratoire (essai de)	69	NAEYER (de) Chaudière	148
Lunette pyrométrique	79	NAPIER (surchauffeur)	240
MAC NICOL. Chaudière	180	NEILSON	248
MAHLER	65	NICHOLSON	120
MACHÉ. Surchauffeur	243	NICLAUSSE 161, 167	255
MANLOVE	307	Niveau Heurley	348
Manomètres Bourdon, 338	341	— Vaultier	348
— Challeton	340	— Foucault	349
— Desbordes	340	— Bourdon	349
— Ducomet	341	NORMAND (chaudière)	180
— Guichard	339	NOUËL	80
— tronqué	342	OGDEN. Surchauffeur	247
— (étalonnage		OOSTERWYCK (VAN). Chau-	
des)	342	dière	158
MARCHIS	27	ORSAT	84
MARIOTTE (loi de)	25	PARSONS (pompe à vide) 412	413
MARONNIER. Foyer	103	PASQUIER (clapet automat.	360
MATHIAN. Chaudière	210	Perte de charge due au	
MATHOT	156	frottement (conduites).	375
MAUREL TRUËL et Cie. Sou-		Perte de charge dans les	
pape	356	conduites de vapeur	375
MAYER (principe de)	15	Petit cheval alimentaire	294
MESURÉ et NOUËL. Pyro-		— Belleville	295
mètre	80	PLANCHE. Niveau pour	
Mesure de la fumivorté		chaudières métallur-	
d'un foyer	92	giques	352
Mesure de la température		PINEL	362
des flammes et des gaz		PITOT	327
d'un foyer	78	Poids d'eau déposée dé-	
MEURISSE (chaudière)	217	tente adiabatique	45
MONTUPET (chaudière), 201		Poids spécifique (vapeur)	17
243	246	Pompes alimentaires Bel-	
MORRIN CLIMAX	214	leville	295
Mixtes (chaudières)	180	POILLON. Grille à per-	
MULLER et ROGER. Clapet		siennes	99

460 TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES

	Pages		Pages
POINCARÉ L.	43	Carnot.	36
Pompe alimentaire	294	— Rendement thermique	
— à air . 384, 387	394	indiqué, effectif	
— Audemar-Guyon.	299	d'une machine.	227
— Leblanc.	419	— thermique d'une	
— à vide humide Ed-		chaudière	56
wards.	393	— d'un surchauffeur	234
Pompe P. Thirion	299	— volumétrique.	380
— Weyer et Riche-		Réchauffeurs.	249
mond.	299	Réchauffeur détartreur	
Pompe Worthington	298	Langumier et Buchet	279
— à vide humide 386	391	Réchauffage de l'eau d'a-	
— à vide sec	386	limentation.	249
Pouvoir calorifique des		Utilisation des calories	
combustibles	65	de la fumée	251
— procédés calorimétri-		Utilisation de la vapeur	
ques.	65	d'échappement	252
— chimiques.	66	Utilisation de la vapeur	
Pression.	5	vive	254
— absolue	6	Réchauffage (utilité du)	249
— effective	6	Réchauffeur Leflaive et	
Production des vapeurs	6	Cie.	259
Purgeurs automatiques	367	Réfrigérants	420
— à flotteur	367	RINGELMANN.	92
— à dilatation	367	RICHMOND 133, 138, 141,	
— Geipel	368	188, 299.	409
Puissance de vaporisa-		RINGHOFFER.	394
tion	57	Robinet de prise et d'ar-	
Pyromètres Le Chatelier.	79	rêt de vapeur	363
— Mesuré-Nouel	80	Rôle des diverses parties	
— Féry	79	d'un foyer	73
RAFFARD (surchauffe)	229	ROSER (chaudière) 148, 219	243
RATEAU, 55, 221, 222, 322	413	ROSSET.	325
RAYMOND ET MORITZ	291	ROSETTI. Chaudière à re-	
REGNAULT (tables de)		tour de flammes	16
. . . . II, 14, 17, 18	27	Saturation (points de)	14
RENAUX ET BOMPAIN	353	— (courbe de)	46
Rendement du cycle de		SCHWOERER. Surchauffeur	233

	Pages		Pages	
SAUVAGE.	129, 376	405	Surchauffeurs Cadish	264
SCHMIDT	234, 240	244	— Climax.	243
SCHNEIDER	391		— Cruse.	238 248
SCHULTZE	86		— Czamatolski.	244 247
Séchage de la vapeur.	286		— Gallouay	239
Sécheurs de vapeur	287		— Grouvelle et Ar-	
SEGER (montres de)	81		quembourg	244
SEGUIN (Marc)	53		— Hering	239 244
Séparateur d'eau et de			— Heizmann	246
vapeur	286		— Maiche.	243
SELLERS.	307		— Montupet.	233 246
SER.	77	305	— Musgrave	239
SERPOULET (chaudière)	212		— Napier	240
SERVE (tubes)	135		— Roser	243
SOLIGNAC. (chaudière).	191		— Schmidt.	240 244
Souppes de sûreté	353		— Schwoerer.	233
— Adams	356		— Steinmuller	239
— Codron	356		— Uhler	246
— Dulac	356		— Watkinson.	246
— Castelnaud.	358		— Wildt.	240 246
— des Chemins de			STEINMULLER. Epurateur	282
Fer P.-L.-M.	356		Tarage des manomètres	342
— Maurel Truelet & C ^{ie}	357		Tables de la vapeur d'eau	
Surchauffe. Avantages	227		saturée	21
— Historique	228		TAILFER (grille)	94
— (difficultés de la)	230		TEMPLE (du).	184 187
Surchauffeurs :			TENBRINCK (bouilleur).	135
— Constitution des.	233		THURION (pompe)	299
— Installation	236		Thermomètres	81
— Rendement	234		THORNYCROFT (chaudière)	183
— Surface de chauffe des	234		Titre de la vapeur	13
— Indépendants	243		Tirage naturel	111
— à liquide intermé-			— forcé	113
diaire.	248		— induit	113
Surchauffeurs	227		— système Prat	114
— Badère.	246		Transformations adiabati-	
— Biéatrix Leflaive et C ^{ie}			tiques	31
241	244		— isothermiques	30

462 TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES

	Pages		Pages
Travail correspondant à		Vaporisation de l'eau . .	10
une transformation		— dans les chaudières .	119
adiabatique . . .	35	— (coefficient de) . .	57
— isothermique . .	34	— (puissance de) . 57	58
Travail externe . . .	11	— (généralités sur le) .	119
— interne . . .	11	— (essai de)	312
Tubes Berendorf . . .	139	VAULTIER (niveau) . . .	348
— Serve	135	VIGNERON	120
TURGAN (chaudière) . .	202	WALKENAER	125
TURCK	307	WATKINSON (surchauffeur)	246
TUYÈRES SOLIGNAC . . .	191	WEYHERET RICHEMOND 133	
UHLER (surchauffeur) . .	246	138, 141, 188, 299	409
Vapeur saturée	5	WEISS (condenseur) . .	398
— — sèche	9	WILCOX	148
— surchauffée . . 9	24	WILDT (surchauffeur) . .	246
— (titre de la) . . .	13	WOLLASTON	282
— d'eau saturée		WORTHINGTON (pompe) . .	298
(tables de la)	20	YARROW (chaudière) . .	181
— (équation		ZEUNER	14
typique de la)	19		

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

TITRE PREMIER

Rappel des propriétés de la vapeur d'eau.

CHAPITRE PREMIER

Vapeurs saturées.

Propriétés générales de la vapeur saturée.

	Pages
1. Définitions. Pression absolue. Pression effective . . .	5
2. Vapeur saturée sèche.	9
3. Vaporisation de l'eau.	10
4. Chaleur latente de vaporisation. Chaleur totale de vaporisation (Etat physique d'un corps. Principe de l'équivalence).	14
5. Poids spécifique, volume spécifique, densité de la vapeur saturée	17
6. Tables de la vapeur d'eau saturée.	20
7. Applications des tables	22

CHAPITRE II

Vapeurs surchauffées

8. Diverses vapeurs surchauffées. Définitions. Densité de la vapeur surchauffée. (Lois régissant les gaz parfaits. Lois de Mariotte, de Gay-Lussac et de Joule) . . .	24
9. Chaleur spécifique de la vapeur surchauffée.	26

Les paragraphes indiqués entre parenthèses dans la table des matières se rapportent à des questions traitées, en notes, dans le texte. .

CHAPITRE III

Evolution de la vapeur sous l'action de la chaleur.

	Pages
10. Transformation isothermique et adiabatique	29
11. Travail correspondant à une transformation. Transformation isothermique d'un gaz. Transformation adiabatique d'un gaz. Applications. Compression et détente adiabatiques d'un gaz	34
12. Cycles réversibles. Cycle de Carnot. Postulatum de Clausius. Rendement du cycle de Carnot	36
13. Diagramme entropique de la vapeur d'eau	42
14. Diagramme entropique relatif à la formation et à la détente de 1 kilogramme de vapeur. Poids d'eau déposé dans une détente adiabatique	45
15. Evolution de la chaleur dans une chaudière, une machine thermique et un condenseur	48
16. Détente adiabatique avec travail moteur, sans travail moteur (détendeur)	50

TITRE II

Générateurs de vapeur.

CHAPITRE PREMIER

Généralités sur les chaudières.

17. Considérations générales. Caractéristiques d'une chaudière	53
18. Rendement thermique	56
19. Coefficient de vaporisation	57
20. Puissance de vaporisation	57
21. Puissance de vaporisation spécifique	58
22. Activité de la combustion	60

CHAPITRE II

*La combustion dans les chaudières.**Combustibles employés dans les chaudières.*

	Pages
23. Emploi de la houille	62
24. Classification des charbons	63
25. Pouvoir calorifique des combustibles	65
26. Essais des combustibles	68
27. Emploi des combustibles liquides	69
28. Emploi des combustibles gazeux	72

Rôle des diverses parties du foyer.

29. La grille	73
30. L'autel	74
31. La chambre de combustion	74
32. Le cendrier	75

Fonctionnement d'un foyer.

33. Considérations générales.	75
34. Mesure de la température des flammes et des gaz d'un foyer. Pyromètre Le Chatelier, pyromètre Féry. Lunette Mesuré et Nouel. Calorimètres, thermomètres. Montres de Seger :	78
35. Analyse des gaz expulsés	82
36. Analyseurs de gaz, emploi de l'oxyde de cuivre.	83
— — — de réactifs absorbants	84
— — — des économètres Orsat, Arndt-Ados-Krell-Schultze-Baillet	85

Fumivoricité des foyers.

37. Considérations générales	87
38. Foyers fumivores	88
39. Mesure de la fumivoricité d'un foyer	92

Description de quelques foyers fumivores.

	Pages
40. Grille mobile à alimentation continue. Grille Tailfer	94
41. Foyer fumivore système Biérix Leflaive et C ^{ie}	96
42. Foyer Creveur	98
43. Grille à persiennes syst. Poillon	99
44. Grille Hinstin	100
45. Foyer fumivore système Maronnier	103
46. Le foyer « Idéal »	105
47. Grille Kudlicz	109
48. Foyer Meldrum	110

Tirage.

49. Tirage naturel. Cheminée	110
50. Tirage forcé	113
51. Tirage mécanique des foyers par aspiration syst. Prat	114

CHAPITRE III

La vaporisation dans les chaudières.

52. Généralités sur la vaporisation	119
---	-----

CHAPITRE IV

La circulation dans les chaudières.

53. Généralités sur la circulation	123
--	-----

CHAPITRE V

Classification des chaudières.

54. Classification générale	127
---------------------------------------	-----

CHAPITRE VI

Chaudières à grands corps.

55. Généralités. Chaudières Cornouailles, Lancashire, Gal- loway, etc	129
--	-----

CHAPITRE VII

Chaudières à tubes de fumée.

	Pages
56. <i>Considérations générales</i>	132
<i>Description de quelques chaudières à tubes de fumée.</i>	
57. Générateur à foyer amovible concentrique avec retour de flamme, système Weyher et Richmond	138
58. Chaudière à foyer intérieur type du Creusot	140
59. Chaudière semi-tubulaire à foyer extérieur, Weyher et Richmond	142

CHAPITRE VIII

Chaudières à tubes d'eau.

60. Généralités sur les chaudières à tubes d'eau.	142
---	-----

CHAPITRE IX

Chaudières multitubulaires à gros tubes d'eau, à circuit composé simple.

61. <i>Considérations générales</i>	145
<i>Description de quelques chaudières.</i>	
62. Chaudière Babcock et Wilcox	148
63. — Bourdon	151
64. — Buttner	153
65. — Mathot, Lagrafel et d'Allest	156

CHAPITRE X

Chaudière à plan d'eau multiples et à circulations indépendantes.

66. Chaudière Van Oosterwyck.	158
---------------------------------------	-----

CHAPITRE XI

Chaudières multitubulaires à gros tubes d'eau à circuit composé simple et retour intérieur aux tubes vaporisateurs.

	Pages
67. Considérations générales	160
68. Chaudières Niclausse.	161

CHAPITRE XII

Chaudières à gros tubes d'eau — à serpentin.

69. Chaudière Belleville	173
------------------------------------	-----

CHAPITRE XIII

Chaudières à petits tubes d'eau — à tubes débouchant dans le corps supérieur.

70. Considérations générales	180
--	-----

Description de quelques chaudières.

71. Chaudière Du Temple	184
72. — à petits tubes, système Weyher et Richemond	188
73. — Grille à tuyères Solignac	190

CHAPITRE XIV

Chaudières à petits tubes d'eau — à tubes de retour.

74. Considérations générales.	199
---------------------------------------	-----

Description de quelques chaudières.

75. Chaudière Turgan	203
76. — en X, système Borrot	207
77. — Mathjan, type Field à flamme renversée	210

CHAPITRE XV

Chaudières à petits tubes d'eau — à serpentín.

	Pages
78. Généralités	212
79. Chaudière Morrin Climax, Serpollet.	214

CHAPITRE XVI

*Chaudières diverses.**Chaudières mixtes.*

80. Généralités sur les chaudières mixtes	216
81. Chaudière Meurisse, Ch. Roser à retour de flammes.	217

Chaudières sans foyer.

82. Généralités, Chaudière de Francoq.	219
Chaudière Honigmann	219
83. Accumulateur régénérateur de M. Rateau	220

CHAPITRE XVII

*Surchauffeurs de vapeur.**Considérations générales.*

84. Rôle du surchauffeur	227
85. Avantages de la surchauffe	227
86. Historique de la surchauffe	228
87. Difficultés auxquelles donne lieu la surchauffe.	230

Constitution des surchauffeurs.

88. La circulation dans les surchauffeurs.	233
90. Surface de chauffe des surchauffeurs. Rendement.	234

Installation des surchauffeurs.

91. Emplacement des surchauffeurs	235
92. Installation des surchauffeurs dans les carneaux des chaud ^{res}	236
93. — — — — — chau- dières à grands corps et à tubes de fumée	238

Chaudières et Condenseurs.

27

	Pages
94. Installation des surchauffeurs dans les chaudières à tubes d'eau.	240
95. Surchauffeurs indépendants	243
96. Surchauffeurs à liquide intermédiaire	248

CHAPITRE XVIII

Economiseurs et réchauffeurs d'eau d'alimentation.

Considérations générales.

97. Utilité du chauffage de l'eau d'alimentation	249
98. Température de chauffage. Utilisation des calories de la fumée.	251
99. Température de chauffage. Utilisation des vapeurs d'échappement.	252
100. Température de chauffage. Utilisation de la vapeur vive	254

Organisation des économiseurs.

101. Généralités	254
----------------------------	-----

Organisation des réchauffeurs.

102. Généralités	257
----------------------------	-----

Exemples d'installations.

103. Economiseur Green.	258
104. Réchauffeur Biérix Leflaive et C ^{ie}	260

CHAPITRE XIX

Epuration des eaux d'alimentation.

105. Considérations générales	261
106. Epuration de l'eau par la chaleur	262
107. Epuration de l'eau au moyen de réactifs	263

Description de quelques épuraeteurs.

	Pages
108. Epurateur automatique système Desrumaux	265.
109. Epurateur système Buron au moyen de réactifs	272
110. — — par la vapeur d'échappement.	274.
111. — — Grauddemange	275.
112. — — Howatson.	277
113. Détartreur système Howatson.	279.
114. Epurateur Dervaux	281
115. Réchauffeur détartreur système Chevalet	282.

Désincrustants.

116. Généralités	284.
----------------------------	------

CHAPITRE XX

Séchage de la vapeur.

117. Séparateur d'eau et de vapeur	286.
118. Sécheurs de vapeur.	287
119. Détendeur de vapeur	287

CHAPITRE XXI

Alimentation des chaudières.

120. Alimentation à l'eau froide — à l'eau chaude — dans l'eau ou dans la vapeur	290.
121. Travail théorique à dépenser pour introduire l'eau d'ali- mentation	293.
122. Appareils alimentaires	293.

Pompes alimentaires.

123. Pompe alimentaire — petit cheval alimentaire	294.
124. Petit cheval alimentaire Belleville	295.
125. Pompe Worthington	298.
126. Pompe Audemar Guyon — pompe Thirion	299
127. Pompe Weyher et Richemoud	299

Injecteurs.

	Pages
108. Généralités sur les injecteurs	300
129. Injecteur Giffard	300
130. Injecteurs multiples.	306

Bouteilles alimentaires.

131. Généralités sur les bouteilles alimentaires	308
132. Comparaison entre les divers genres d'appareils alimentaires	308

CHAPITRE XXII

Choix et essais des chaudières.

133. Considérations sur le choix des chaudières	310
134. Généralités sur les essais de chaudières	311
135. Essai de vaporisation	312
136. Détermination de l'eau de primage. Méth. calorimétrique.	313
137. — — — chimique	315
138. — — — et ap. Gchre	317
139. — — — — Barrus	319
140. — — — — Rateau	322
141. — — — densimétrique	325
— — — calorimétrique	
modifiée	327
142. Emploi des diverses méthodes Pourcentage d'eau de primage à tolérer	328
143. Exemple de procès-verbal d'essais	329

CHAPITRE XXIII

Appareils de contrôle et de sécurité des chaudières

144. Manomètres Bourdon, Guichard, Challeton, Desbordes, Ducomet. Manomètres enregistreurs	338
145. Etalonnage des manomètres. Manomètre tronqué. Appareil à tarer les manomètres	342

	Pages
146. Indicateurs de niveau — à tube de verre	346
à tube de verre et barillet	347
niveau Heurley	348
niveau Vaultier	348
niveau épurateur Foucault	348
niveau Bourdon	349
147. Indicateur à robinets	349
148. Indicateur à flotteurs	350
Appareil Planche pour chaudières métallurgiques	351
— Renaux et Bonpain pour chaudières métallurgiques	351
149. Soupapes de sûreté. Soupape Adams	353
— Codron	356
— Maurel Truel et C ^{ie}	357
— Castelnaud	357
150. Clapets automatiques de retenue de vapeur	358
Clapet Labeyrie	359
— double Carette	359
— Pasquier	360
— Muller et Roger	360
151. Clapets automatiques d'alimentation. Robinets de prise et d'arrêt de vapeur	362

CHAPITRE XXIV

Conduites de vapeurs.

152. Organisation des conduites de vapeur	364
153. Précautions à prendre dans l'organisation des conduites	366
154. Purgeurs automatiques, purgeurs à flotteur	367
Purgeurs à dilatation	368
155. Coups d'eau dans les conduites de vapeur	369
156. Calcul d'une conduite d'un débit donné. Applications	374
157. — — donnant lieu à une perte de charge donnée. Applications. Formule	375

TITRE III

Condenseurs.

CHAPITRE PREMIER

Généralités sur la condensation, classification des condenseurs.

	Pages
158. Considérations générales	377
159. Classification des condenseurs	378
160. Utilité de la condensation	380

CHAPITRE II

Condenseurs à mélange.

161. Organisation générale des condenseurs à mélange . .	384
162. Eau nécessaire pour condenser un kilogr. de vapeur d'échappement.	386
163. Volume de la pompe à air d'un condenseur. Eau à évacuer	387
164. Volume d'eau à évacuer par seconde	388
165. Organisation des pompes à air dites pompes à vide hu- mide	391
166. Comparaison entre les pompes horizontales et les pompes verticales	394
167. Volume du condenseur	395
168. Température au condenseur	395
169. Fonctionnement d'un condenseur à mélange. Amorçage	395
170. Condenseur barométrique	397

CHAPITRE III

Condenseurs à surface.

171. Organisation générale des condenseurs à surface . . .	399
172. Aéro condenseurs	401

CHAPITRE IV

Condenseurs vapo-risateurs.

173. Organisation générale des condenseurs vapo-risateurs . . . 404

CHAPITRE V

Ejecto-Condenseurs.

174. Organisation générale des ejecto-condenseurs 406

CHAPITRE VI

- 175.
- Condenseurs centraux indépendants*
- 408

CHAPITRE VII

Condenseurs pour turbines.

176. Nécessité de condenseurs spéciaux. Pompe à vide sec . . . 410-
 177. Pompe à vide sec à éjecteurs 412
 178. Pompe à air système Leblanc. 414
 179. Applications de la pompe Leblanc. Condenseur à surface, 417
 180. — — — — — à mélange 418

CHAPITRE VIII

Réfrigérants.

181. Organisation des réfrigérants. 420

ANNEXES

**Réglementation française
des appareils à vapeur installés à terre.**

- I. Règlement concernant les appareils à vapeur installés
à terre (Décret du 7 octobre 1907). 430
 II. Taxes applicables aux épreuves réglementaires des appareils
à vapeur (loi du 18 juillet 1892) 445

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du D^r TOULOUSE,

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le D^r Toulouse, Directeur à l'École des Hautes Études, d'une ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1 000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les plus grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — *L'Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités, — massifs, d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traités, *l'Encyclopédie* gardera la supériorité que possède un

ensemble complet, bien divisé et fournissant sur chaque science tous les enseignements et tous les renseignements qu'on en réclame. Du Dictionnaire, l'*Encyclopédie* gardera les facilités de recherches par le moyen d'une table générale, l'*Index* de l'*Encyclopédie*, qui paraîtra dès la publication d'un certain nombre de volumes et sera réimprimé périodiquement. L'*Index* renverra le lecteur aux différents volumes et aux pages où se trouvent traités les divers points d'une question.

Les éditions successives de chaque volume permettront de suivre toujours de près les progrès de la science. Et c'est par là que s'affirme la supériorité de ce mode de publication sur tout autre. Alors que, sous sa masse compacte, un traité, un dictionnaire ne peut être réédité et renouvelé que dans sa totalité et qu'à d'assez longs intervalles, inconvénients graves qu'atténuent mal des suppléments et des appendices, l'*Encyclopédie scientifique*, au contraire, pourra toujours rajeunir les parties qui ne seraient plus au courant des derniers travaux importants. Il est évident, par exemple, que si des livres d'algèbre ou d'acoustique physique peuvent garder leur valeur pendant de nombreuses années, les ouvrages exposant les sciences en formation, comme la chimie physique, la psychologie ou les technologies industrielles, doivent nécessairement être remaniés à des intervalles plus courts.

Le lecteur appréciera la souplesse de publication de cette *Encyclopédie*, toujours vivante, qui s'élargira au fur et à mesure des besoins dans le large cadre tracé dès le début, mais qui constituera toujours, dans son ensemble, un traité complet de la Science, dans chacune de ses sections un traité complet d'une science, et dans chacun de ses livres une monographie complète. Il pourra ainsi n'acheter que telle ou telle section de l'*Encyclopédie*, sûr de n'avoir pas des parties dépareillées d'un tout.

L'*Encyclopédie* demandera plusieurs années pour être achevée : car pour avoir des expositions bien faites, elle a pris ses collaborateurs plutôt parmi les savants que parmi les professionnels de la rédaction scientifique que l'on retrouve généralement dans les œuvres similaires. Or les savants écrivent peu et lentement : et il est préférable de laisser temporairement sans attribution certains ouvrages plutôt que de les confier à des auteurs insuffisants. Mais cette lenteur et ces vides ne présenteront pas d'inconvénients, puisque chaque

livre est une œuvre indépendante et que tous les volumes publiés sont à tout moment réunis par l'*Index* de l'*Encyclopédie*. On peut donc encore considérer l'*Encyclopédie* comme une librairie, où les livres soigneusement choisis, au lieu de représenter le hasard d'une production individuelle, obéiraient à un plan arrêté d'avance, de manière qu'il n'y ait ni lacune dans les parties ingrates, ni double emploi dans les parties très cultivées.

Caractère scientifique des ouvrages. — Actuellement, les livres de science se divisent en deux classes bien distinctes : les livres destinés aux savants spécialisés, le plus souvent incompréhensibles pour tous les autres, faute de rappeler au début des chapitres les connaissances nécessaires, et surtout faute de définir les nombreux termes techniques incessamment forgés, ces derniers rendant un mémoire d'une science particulière inintelligible à un savant qui en a abandonné l'étude durant quelques années ; et ensuite les livres écrits pour le grand public, qui sont sans profit pour des savants et même pour des personnes d'une certaine culture intellectuelle.

L'*Encyclopédie scientifique* a l'ambition de s'adresser au public le plus large. Le savant spécialisé est assuré de rencontrer dans les volumes de sa partie une mise au point très exacte de l'état actuel des questions ; car chaque Bibliothèque, par ses techniques et ses monographies, est d'abord faite avec le plus grand soin pour servir d'instrument d'études et de recherches à ceux qui cultivent la science particulière qu'elle présente, et sa devise pourrait être : *Par les savants, pour les savants*. Quelques-uns de ces livres seront même, par leur caractère didactique, destinés à servir aux études de l'enseignement secondaire ou supérieur. Mais, d'autre part, le lecteur non spécialisé est certain de trouver, toutes les fois que cela sera nécessaire, au seuil de la section, — dans un ou plusieurs volumes de généralités, — et au seuil du volume, — dans un chapitre particulier, — des données qui formeront une véritable introduction le mettant à même de poursuivre avec profit sa lecture. Un vocabulaire technique, placé, quand il y aura lieu, à la fin du volume, lui permettra de connaître toujours le sens des mots spéciaux.

II

ORGANISATION SCIENTIFIQUE

Par son organisation scientifique, l'*Encyclopédie* paraît devoir offrir aux lecteurs les meilleures garanties de compétence. Elle est divisée en Sections ou Bibliothèques, à la tête desquelles sont placés des savants professionnels spécialisés dans chaque ordre de sciences et en pleine force de production, qui, d'accord avec le Directeur général, établissent les divisions des matières, choisissent les collaborateurs et acceptent les manuscrits. Le même esprit se manifestera partout : éclectisme et respect de toutes les opinions logiques, subordination des théories aux données de l'expérience, soumission à une discipline rationnelle stricte ainsi qu'aux règles d'une exposition méthodique et claire. De la sorte, le lecteur, qui aura été intéressé par les ouvrages d'une section dont il sera l'abonné régulier, sera amené à consulter avec confiance les livres des autres sections dont il aura besoin, puisqu'il sera assuré de trouver partout la même pensée et les mêmes garanties. Actuellement, en effet, il est, hors de sa spécialité, sans moyen pratique de juger de la compétence réelle des auteurs.

Pour mieux apprécier les tendances variées du travail scientifique adapté à des fins spéciales, l'*Encyclopédie* a sollicité, pour la direction de chaque Bibliothèque, le concours d'un savant placé dans le centre même des études du ressort. Elle a pu ainsi réunir des représentants des principaux Corps savants, Établissements d'enseignement et de recherches de langue française :

<i>Institut.</i>	<i>École Polytechnique.</i>
<i>Académie de Médecine.</i>	<i>Conservatoire des Arts et Métiers.</i>
<i>Collège de France.</i>	<i>École d'Anthropologie.</i>
<i>Muséum d'Histoire naturelle.</i>	<i>Institut National agronomique.</i>
<i>École des Hautes-Études.</i>	<i>École vétérinaire d'Alfort.</i>
<i>Sorbonne et École normale.</i>	<i>École supérieure d'Électricité.</i>
<i>Facultés des Sciences.</i>	<i>École de Chimie industrielle de</i>
<i>Facultés des Lettres.</i>	<i>Lyon.</i>
<i>Facultés de médecine.</i>	<i>École des Beaux-Arts.</i>
<i>Instituts Pasteur.</i>	<i>École des Sciences politiques.</i>
<i>École des Ponts et Chaussées.</i>	<i>Observatoire de Paris.</i>
<i>École des Mines.</i>	<i>Hôpitaux de Paris.</i>

III

BUT DE L'ENCYCLOPÉDIE

Au XVIII^e siècle, « l'Encyclopédie » a marqué un magnifique mouvement de la pensée vers la critique rationnelle. A cette époque, une telle manifestation devait avoir un caractère philosophique. Aujourd'hui, l'heure est venue de renouveler ce grand effort de critique, mais dans une direction strictement scientifique ; c'est là le but de la nouvelle *Encyclopédie*.

Ainsi la science pourra lutter avec la littérature pour la direction des esprits cultivés, qui, au sortir des écoles, ne demandent guère de conseils qu'aux œuvres d'imagination et à des encyclopédies où la science a une place restreinte, tout à fait hors de proportion avec son importance. Le moment est favorable à cette tentative ; car les nouvelles générations sont plus instruites dans l'ordre scientifique que les précédentes. D'autre part la science est devenue, par sa complexité et par les corrélations de ses parties, une matière qu'il n'est plus possible d'exposer sans la collaboration de tous les spécialistes, unis là comme le sont les producteurs dans tous les départements de l'activité économique contemporaine.

A un autre point de vue, l'*Encyclopédie*, embrassant toutes les manifestations scientifiques, servira comme tout inventaire à mettre au jour les lacunes, les champs encore en friche ou abandonnés, — ce qui expliquera la lenteur avec laquelle certaines sections se développeront, — et suscitera peut-être les travaux nécessaires. Si ce résultat est atteint, elle sera fière d'y avoir contribué.

Elle apporte en outre une classification des sciences et, par ses divisions, une tentative de mesure, une limitation de chaque domaine. Dans son ensemble, elle cherchera à refléter exactement le prodigieux effort scientifique du commencement de ce siècle et un moment de sa pensée, en sorte que dans l'avenir elle reste le document principal où l'on puisse retrouver et consulter le témoignage de cette époque intellectuelle.

On peut voir aisément que l'*Encyclopédie* ainsi conçue, ainsi réalisée, aura sa place dans toutes les bibliothèques publiques, universitaires et scolaires, dans les laboratoires, entre les mains des savants, des industriels et de tous les hommes instruits qui veulent se tenir

**

au courant des progrès, dans la partie qu'ils cultivent eux-mêmes ou dans tout le domaine scientifique. Elle fera jurisprudence, ce qui lui dicte le devoir d'impartialité qu'elle aura à remplir.

Il n'est plus possible de vivre dans la société moderne en ignorant les diverses formes de cette activité intellectuelle qui révolutionne les conditions de la vie ; et l'interdépendance de la science ne permet plus aux savants de rester cantonnés, spécialisés dans un étroit domaine. Il leur faut, — et cela leur est souvent difficile, — se mettre au courant des recherches voisines. A tous, l'*Encyclopédie* offre un instrument unique dont la portée scientifique et sociale ne peut échapper à personne.

IV

CLASSIFICATION DES MATIÈRES SCIENTIFIQUES

La division de l'*Encyclopédie* en Bibliothèques a rendu nécessaire l'adoption d'une classification des sciences, où se manifeste nécessairement un certain arbitraire, étant donné que les sciences se distinguent beaucoup moins par les différences de leurs objets que par les divergences des aperçus et des habitudes de notre esprit. Il se produit en pratique des interpénétrations réciproques entre leurs domaines, en sorte que, si l'on donnait à chacun l'étendue à laquelle il peut se croire en droit de prétendre, il envahirait tous les territoires voisins ; une limitation assez stricte est nécessitée par le fait même de la juxtaposition de plusieurs sciences.

Le plan choisi, sans viser à constituer une synthèse philosophique des sciences, qui ne pourrait être que subjective, a tendu pourtant à échapper dans la mesure du possible aux habitudes traditionnelles d'esprit, particulièrement à la routine didactique, et à s'inspirer de principes rationnels.

Il y a deux grandes divisions dans le plan général de l'*Encyclopédie* ; d'un côté les sciences pures, et, de l'autre, toutes les technologies qui correspondent à ces sciences dans la sphère des applications. A part et au début, une Bibliothèque d'introduction générale est

consacrée à la philosophie des sciences (histoire des idées directrices, logique et méthodologie).

Les sciences pures et appliquées présentent en outre une division générale en sciences du monde inorganique et en sciences biologiques. Dans ces deux grandes catégories, l'ordre est celui de particularité croissante, qui marche parallèlement à une rigueur décroissante. Dans les sciences biologiques pures enfin, un groupe de sciences s'est trouvé mis à part, en tant qu'elles s'occupent moins de dégager des lois générales et abstraites que de fournir des monographies d'êtres concrets, depuis la paléontologie jusqu'à l'anthropologie et l'ethnographie.

Étant donné les principes rationnels qui ont dirigé cette classification, il n'y a pas lieu de s'étonner de voir apparaître des groupements relativement nouveaux, une biologie générale, — une physiologie et une pathologie végétales, distinctes aussi bien de la botanique que de l'agriculture, — une chimie physique, etc.

En revanche, des groupements hétérogènes se disloquent pour que leurs parties puissent prendre place dans les disciplines auxquelles elles doivent revenir. La géographie, par exemple, retourne à la géologie, et il y a des géographies botanique, zoologique, anthropologique, économique, qui sont étudiées dans la botanique, la zoologie, l'anthropologie, les sciences économiques.

Les sciences médicales, immense juxtaposition de tendances très diverses, unies par une tradition utilitaire, se désagrègent en des sciences ou des techniques précises ; la pathologie, science de lois, se distingue de la thérapeutique ou de l'hygiène qui ne sont que les applications des données générales fournies par les sciences pures, et à ce titre mises à leur place rationnelle.

Enfin, il a paru bon de renoncer à l'anthropocentrisme qui exigeait une physiologie humaine, une anatomie humaine, une embryologie humaine, une psychologie humaine. L'homme est intégré dans la série animale dont il est un aboutissant. Et ainsi, son organisation, ses fonctions, son développement s'éclairent de toute l'évolution antérieure et préparent l'étude des formes plus complexes des groupements organiques qui sont offertes par l'étude des sociétés.

On peut voir que, malgré la prédominance de la préoccupation pratique dans ce classement des Bibliothèques de l'*Encyclopédie scientifique*, le souci de situer rationnellement les sciences dans leurs

rapports réciproques n'a pas été négligé. Enfin il est à peine besoin d'ajouter que cet ordre n'implique nullement une hiérarchie, ni dans l'importance ni dans les difficultés des diverses sciences. Certaines, qui sont placées dans la technologie, sont d'une complexité extrême, et leurs recherches peuvent figurer parmi les plus ardues.

Prix de la publication. — Les volumes, illustrés pour la plupart, seront publiés dans le format in-18 jésus et cartonnés. De dimensions commodes, ils auront 400 pages environ, ce qui représente une matière suffisante pour une monographie ayant un objet défini et important, établie du reste selon l'économie du projet qui saura éviter l'émiettement des sujets d'exposition. Le prix étant fixé uniformément à 5 francs, c'est un réel progrès dans les conditions de publication des ouvrages scientifiques, qui, dans certaines spécialités, coûtent encore si cher.

TABLE DES BIBLIOTHÈQUES

DIRECTEUR : **D^r TOULOUSE**, Directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.

SECRETÉNAIRE GÉNÉRAL : **H. PIÉRON**, agrégé de l'université.

DIRECTEURS DES BIBLIOTHÈQUES :

1. *Philosophie des Sciences*. **P. PATKÉVÉ**, de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

I. SCIENCES PURES

A. Sciences mathématiques :

2. *Mathématiques* **J. DRACH**, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse.
3. *Mécanique* **J. DRACH**, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse.

B. Sciences inorganiques :

4. *Physique* **A. LEDUC**, professeur adjoint de physique à la Sorbonne.
5. *Chimie physique* . . . **J. PERRIN**, chargé de cours à la Sorbonne.
6. *Chimie* **A. PICTET**, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève.
7. *Astronomie et Physique céleste* **J. MASCART**, astronome adjoint à l'Observatoire de Paris.
8. *Météorologie* **B. BRUNES**, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Clermont-Ferrand, directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.
9. *Minéralogie et Pétrographie* **A. LACROIX**, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
10. *Géologie* **M. BOULE**, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
11. *Océanographie physique* **J. RICHARD**, directeur du Musée Océanographique de Monaco.

C. Sciences biologiques normatives :

	12. <i>Biologie</i>	{ A. <i>Biologie générale</i> . B. <i>Océanographie biologique</i>	M. CAULLERY, professeur de zoologie à la Sorbonne.
			J. RICHARD, directeur du Musée Océanographique de Monaco.
13.	<i>Physique biologique</i>		A. IMBERT, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Montpellier.
14.	<i>Chimie biologique</i>		G. BERTRAND, professeur de chimie biologique à la Sorbonne, chef de service à l'Institut Pasteur.
15.	<i>Physiologie et Pathologie végétales</i>		L. MANGIN, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
16.	<i>Physiologie</i>		J.-P. LANGLOIS, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.
17.	<i>Psychologie</i>		E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Études, médecin en chef de l'asile de Villejuif.
18.	<i>Sociologie</i>		G. RICHARD, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Bordeaux.
19.	<i>Microbiologie et Parasitologie</i>		A. CALMETTE, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille, et F. BEZANÇON, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris, médecin des Hôpitaux.
20.	<i>Pathologie.</i>	A. <i>Pathologie médicale</i>	M. KLIPPEL, médecin des Hôpitaux de Paris.
		B. <i>Neurologie</i>	E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études, médecin en chef de l'asile de Villejuif.
		C. <i>Path. chirurgicale</i>	L. PICQUÉ, chirurgien des Hôpitaux de Paris.

D. Sciences biologiques descriptives :

21.	<i>Paléontologie</i>		M. BOULE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
22.	<i>Botanique.</i>	A. <i>Généralités et phanérogames</i>	H. LECOMTE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
		B. <i>Cryptogames</i>	L. MANGIN, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

23. *Zoologie* G. LOISEL, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.
24. *Anatomie et Embryologie* G. LOISEL, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.
25. *Anthropologie et Ethnographie* G. PAPILLAULT, directeur-adjoint du Laboratoire d'Anthropologie à l'École des Hautes Études, professeur à l'École d'Anthropologie.
26. *Economie politique* D. BELLET, secrétaire perpétuel de la Société d'Economie politique, professeur à l'École des Sciences politiques.

 H. SCIENCES APPLIQUÉES

A. Sciences mathématiques :

7. *Mathématiques appliquées* M. D'OCAGNE, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École polytechnique.
28. *Mécanique appliquée et génie* M. D'OCAGNE, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École polytechnique.

B. Sciences inorganiques :

29. *Industries physiques* H. CHAUMAT, sous-directeur de l'École supérieure d'Électricité de Paris.
30. *Photographie* A. SEYEWETZ, sous-directeur de l'École de Chimie industrielle de Lyon.
31. *Industries chimiques* J. DERÔME, professeur agrégé de Physique au collège Chaptal, inspecteur des Établissements classés.
32. *Géologie et minéralogie appliquées* L. GAYEUX, professeur à l'Institut national agronomique, professeur de géologie à l'École des Mines.
33. *Construction* J. PILLET, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'École des Beaux-Arts.

C. Sciences biologiques :

34. *Industries biologiques* G. BERTRAND, professeur de chimie biologique à la Sorbonne, chef de service à l'Institut Pasteur.
35. *Botanique appliquée et agriculture* H. LECOMTE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
36. *Zoologie appliquée* J. PELLEGRIN, assistant au Muséum d'Histoire naturelle.

37. *Thérapeutique générale et pharmacologie* G. POUCHET, membre de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris.
38. *Hygiène et médecine publiques* A. CALMETTE, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille.
39. *Psychologie appliquée*. E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études, médecin en chef de l'asile de Villejuif.
40. *Sociologie appliquée* . TH. RUYSSEN, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Bordeaux.
- M. ALBERT MAIRE, bibliothécaire à la Sorbonne, est chargé de l'Index de l'Encyclopédie scientifique.

|

