

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Revue technique de l'Exposition universelle de 1900. Texte
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1900
Numérotation	1, 1900 - 14, 1901
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1900-1901
Collation	14 vol. ; in-8
Nombre de volumes	14
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 585
Sujet(s)	Exposition universelle (1900 ; Paris)
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE585
LISTE DES VOLUMES	
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1. Première partie. Architecture et construction. Tome I 2. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome I 3. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome II 4. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome III 5. Troisième partie. Électricité. Tome I 6. Quatrième partie. Génie civil. Tome I 7. Quatrième partie. Génie civil. Tome II 8. Cinquième partie. Moyens de transport 9. Sixième partie. Génie rural et industries agricoles et alimentaires. Tome I 10. Sixième partie. Génie rural et industries agricoles et alimentaires. Tome II 11. Septième partie. Mines et métallurgie. Tome I 12. Huitième partie. Industries textiles 13. Neuvième partie. Industries chimiques et diverses 14. Dixième partie. Armées de terre et de mer

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1900
Volume	2. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome I
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1901
Collation	1 vol. (424 p.) : ill. en noir et blanc ; 27 cm
Nombre de vues	430
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 585 (2)
Sujet(s)	Exposition universelle (1900 ; Paris) Chaudières à vapeur -- 19e siècle
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	06/10/2010
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/152553444
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE585.2

REVUE TECHNIQUE
DE
L'EXPOSITION UNIVERSELLE
DE 1900

COURBEVOIE

IMPRIMERIE E. BERNARD ET C^{ie}

14, RUE DE LA STATION, 14

BUREAUX A PARIS, 29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

T° 792

8° Zee 585-2

Revue Technique DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

*Par un Comité d'Ingénieurs,
d'Architectes, de Professeurs et de Constructeurs*

Directeur

CH. JACOMET*

DIRECTEUR-INGÉNIEUR DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES
DIRECTEUR
DE L'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
EN RETRAITE

DEUXIÈME PARTIE

Matériel et Procédés généraux de la Mécanique

TOME I

PARIS

E. BERNARD & Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

29, Quai des Grands-Augustins, 29

1901

LES
GÉNÉRATEURS DE VAPEUR
à
L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900
PAR
M. BOUTTÉ

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
INGÉNIEUR DU SERVICE DES INSTALLATIONS MÉCANIQUES DE L'EXPOSITION

AVANT-PROPOS

Les générateurs de vapeur ont pris une importance considérable à l'Exposition de 1900, en raison de la grande quantité de vapeur qui leur a été demandée pour le fonctionnement des groupes électrogènes utilisés au service de la force motrice.

Le développement des transports d'énergie électrique et les applications nombreuses de l'électricité à la commande de machines diverses, ont formé la caractéristique des progrès accomplis dans l'industrie mécanique depuis 1889.

Il était donc nécessaire d'obtenir cette impression bien nette pour l'Exposition de 1900, en supprimant les transmissions attaquées par machines motrices et en utilisant pour la production de la force le plus grand nombre possible de groupes électrogènes.

Trente-sept machines génératrices françaises ou étrangères, admises pour une puissance totale de 36 000 chevaux indiqués, furent installées dans les deux halls de 30 m. établis au Champ-de-Mars du côté de l'avenue La Bourdonnais et de l'avenue de Suffren, formant ainsi une vaste station centrale d'électricité pour la production du courant continu et du courant alternatif.

Les chaudières devaient donc être capables de fournir la quantité de vapeur correspondante, en tenant compte des périodes de pleine charge pour l'éclairage public et des besoins des exposants pendant la journée sous forme de vapeur directe ou d'énergie électrique.

Dans ces conditions, la consommation de vapeur pouvait atteindre 150 000 kg. à l'heure, abstraction faite des condensations qui se produiraient dans les canalisations et de la vapeur nécessaire au fonctionnement des chevaux alimentaires.

Les constructeurs de chaudières répondirent à l'appel de l'Administration, et 92 appareils furent admis pour contribuer à la production d'ensemble.

Ils ont été répartis de la façon suivante :

Usine La Bourdonnais (Section française).

50 chaudières capables de produire 120 600 kg. de vapeur à l'heure.

Usine Suffren (Sections étrangères).

42 chaudières capables de produire 114 100 kg. de vapeur à l'heure.

La production totale pouvait donc atteindre le chiffre de 234 700 kg. à l'heure, de sorte que l'ensemble de l'installation se trouvait dans des conditions favorables, la consommation prévue restant bien inférieure à la puissance totale de vaporisation des chaudières.

En réalité, pendant les 212 jours de durée de l'Exposition, la production moyenne des 92 chaudières a été de 1 481 600 kg. par journée.

Si nous rappelons qu'à l'Exposition de 1878, cette production fut seulement de 219 450 kg. par journée, et qu'à l'Exposition de 1889, elle atteignit 382 205 kg. par journée, nous justifierons amplement l'importance que nous avons attribuée aux générateurs de vapeur à l'Exposition de 1900.

En plus des 92 chaudières en fonctionnement, un certain nombre de générateurs figuraient, à l'état inerte, dans différentes classes francaises et étrangères de la mécanique, et, à Vincennes, la section des Etats-Unis avait monté deux chaudières destinées à l'alimentation des moteurs à vapeur de son pavillon des machines-outils.

Nous examinerons successivement tous ces appareils en adoptant pour notre travail la division en trois parties principales, savoir :

1^o Générateurs en fonctionnement.

2^o Générateurs inertes.

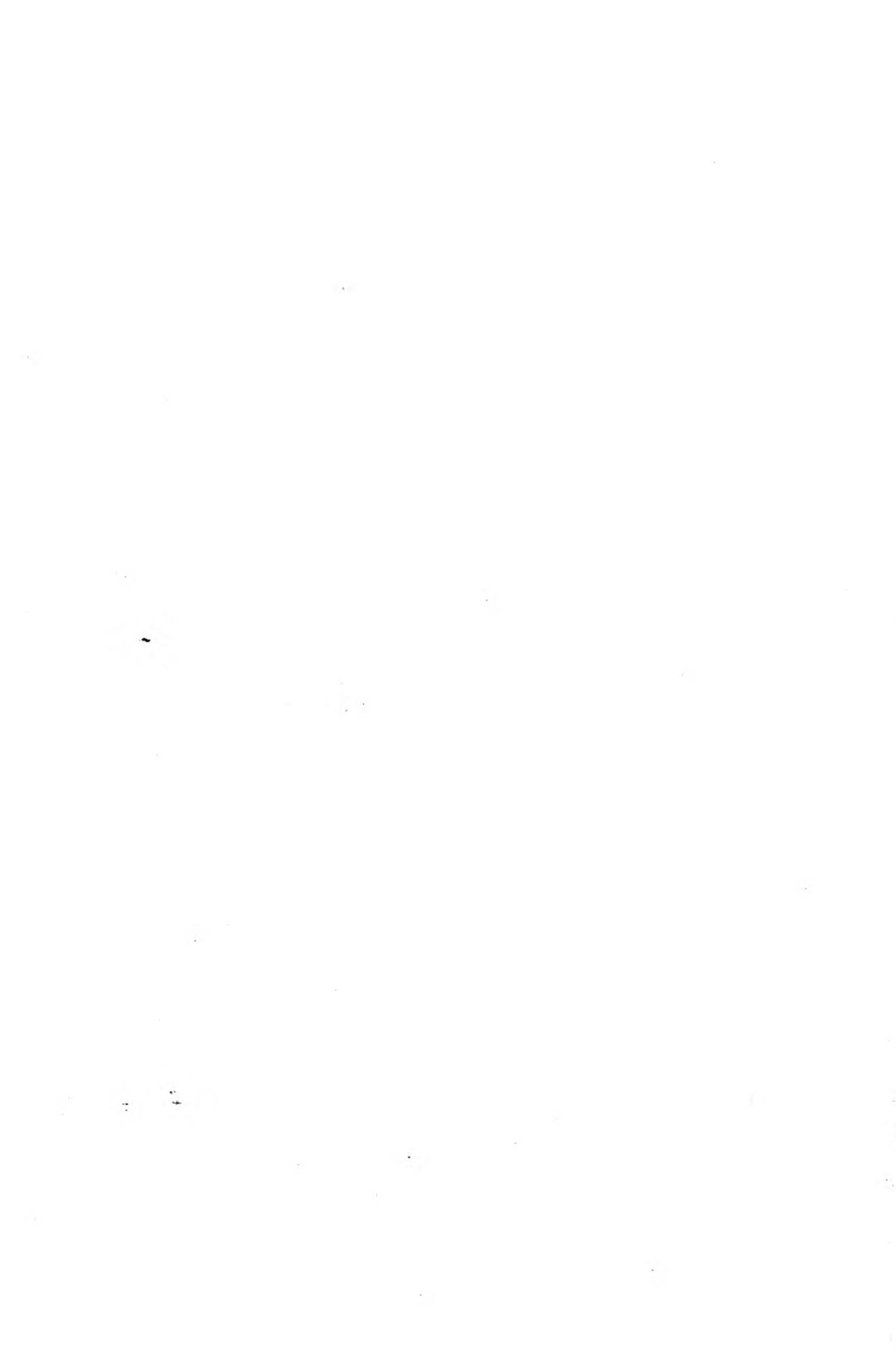
3^o Appareils accessoires des générateurs.

Dans la première partie, avant d'aborder les appareils proprement dits, nous exposerons les conditions générales d'installation et d'exploitation, imposées aux constructeurs fournisseurs de vapeur, et les travaux importants (carreaux de fumée, cheminées, bâtiments, canalisations, etc.), qui ont été étudiés par M. Ch. Bourdon, Ingénieur en Chef

du service des installations mécaniques, et exécutés sous sa direction dans des conditions particulièrement heureuses.

Nous terminerons ce chapitre par quelques indications générales sur la distribution de la vapeur aux groupes électrogènes, par l'intermédiaire des conduites établies dans les galeries souterraines du Champ-de-Mars, sur une longueur totale de 3 km. environ.

Dans la seconde partie, nous comprendrons toutes les chaudières autres que celles en fonctionnement, et enfin dans la troisième, nous examinerons, sinon tous les appareils accessoires des générateurs, au moins ceux qui nous ont paru les plus intéressants et les plus capables de répondre aux besoins actuels de l'industrie mécanique, pour la production et l'utilisation de la vapeur.



PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRATEURS EN FONCTIONNEMENT

CHAPITRE PREMIER

INSTALLATION DES CHAUDIÈRES

Conditions générales d'installation.

Les chaudières destinées à produire la vapeur pour le service de la force motrice devaient fonctionner sous la surveillance et la responsabilité de l'Administration de L'Exposition. Il était donc indispensable qu'elles fussent soumises à une réglementation particulière, établie néanmoins avec une largeur de vue suffisante pour ne pas effrayer les constructeurs qui désiraient présenter au public et lui faire apprécier, en pleine marche, leurs appareils perfectionnés.

Une commission consultative, instituée par arrêté ministériel et composée des personnalités les plus compétentes du monde scientifique et industriel, a donc été établie auprès du Commissariat Général, sous le nom de Comité technique des Machines, pour étudier les questions relatives à l'installation et au fonctionnement des machines et des chaudières.

A côté du Sous-Comité des Machines et du Sous-Comité des Appareils divers, dont nous n'avons pas à nous occuper, le Sous-Comité des Chaudières réuni sous la présidence de M. Michel Lévy, membre de l'Institut, examina les conditions générales qui devaient être imposées aux fournisseurs de vapeur par l'Administration de l'Exposition.

De plus, il chargea son rapporteur, M. Walckenaer, Ingénieur en Chef des Mines, d'étudier les différentes chaudières proposées et de fournir sur chacune d'elles un rapport suffisamment complet pour n'accorder l'admission qu'en toute connaissance de cause.

Le 3 août 1898, les conditions générales suivantes furent adoptées

par le Comité technique des Machines, sur la proposition du Sous-Comité des Chaudières.

Conditions générales de l'installation et de l'exploitation des chaudières.

ARTICLE PREMIER. — *Nature de la fourniture.* — La vapeur nécessaire à la production de l'énergie électrique et au service de la force motrice sera produite par deux usines génératrices : l'une, dite usine La Bourdonnais, réservée aux constructeurs français, sera installée dans la cour de 117 m. sur 40 m., située entre le Palais Central de l'Electricité, le Palais de l'Agriculture et des Aliments, le Palais de la Mécanique et le passage longeant l'Avenue La Bourdonnais ; la seconde, réservée aux constructeurs étrangers, sera installée dans une cour symétrique, située du côté de l'Avenue Suffren, et prendra le nom d'Usine Suffren.

Ces usines génératrices de vapeur se composeront de groupes de chaudières dont chacun pourra produire en marche normale, au moins 10000 et au plus 20000 kg. de vapeur à l'heure.

Art. 2. — *Caractère spécial de la fourniture.* — Les appareils installés seront considérés comme objets exposés ; les conditions du règlement général de l'Exposition leur seront applicables ; ils seront notamment soumis à l'examen du Jury international et concourront pour l'obtention des récompenses. En raison de ce caractère particulier, la fourniture des appareils sera faite dans les mêmes conditions que celles des autres appareils exposés, c'est-à-dire qu'il ne sera rien alloué de ce chef à l'exposant fournisseur. L'installation et l'exploitation des appareils donneront seules lieu aux rémunérations définies à l'article 9 ci-après.

Art. 3. — *Conditions d'installation. — Plans.* — L'installation des appareils sera faite conformément à un plan établi par le fournisseur, accepté par le Directeur général de l'Exploitation sur l'avoir favorable du Comité technique des machines et annexé à chacun des marchés particuliers.

Les constructeurs se conformeront aux dispositions qui seront prescrites par l'Administration en vue de la sécurité publique.

Fondations. — L'Administration livrera à l'exposant l'emplacement qui lui est nécessaire, et l'exposant procédera à ses frais à l'établissement des fondations des chaudières et des massifs des appareils accessoires.

Les matériaux ayant servi à la construction de ces massifs et fondations resteront à la fin de l'Exposition la propriété du fournisseur, qui les reprendra ou les abandonnera s'il le juge préférable.

Carneaux de fumée. — Les carneaux de fumée destinés à desservir les chaudières de chacune des deux usines seront établis par les soins et aux frais de l'Administration ; des raccords seront préparés pour recevoir l'aboutissement des carneaux des divers groupes de chaudières ; les carneaux particuliers reliant les chaudières aux carneaux généraux seront établis par les soins et aux frais des fournisseurs, d'après des plans approuvés par le Directeur général de l'Exploitation.

Cheminées. — Deux grandes cheminées seront établies, à raison d'une pour chaque usine, par les soins et aux frais de l'Administration de l'Exposition.

Tuyautages de vapeur. — L'Administration établira des tuyautages généraux de vapeur, destinés à relier les usines productrices aux machines consommatrices et aux diverses parties de l'Exposition où il sera fait usage de vapeur ; mais chaque fournisseur devra relier, à ses frais, les chaudières fournies par lui aux tuyautages généraux de l'Administration.

Eau d'alimentation. — L'administration établit également les conduites amenant l'eau de Seine destinée à l'alimentation des chaudières à chacune des usines génératrices de vapeur ; les fournisseurs devront relier leurs réservoirs alimentaires ou leurs pompes à ces conduites générales.

Vidange. — Des collecteurs de vidange seront établis par l'Administration ; les fournisseurs devront établir à leurs frais les canalisations y reliant les chaudières et les purges de leurs divers appareils.

Condensation des vapeurs des appareils auxiliaires. — Pour éviter d'évacuer dans l'atmosphère les vapeurs ayant travaillé dans les divers appareils auxiliaires des chaudières, l'Administration fera établir des condenseurs indépendants, dans lesquels ces vapeurs seront évacuées. Une conduite générale d'échappement à ces condenseurs sera établie par l'Administration ; les constructeurs devront, à leurs frais, y relier leurs propres appareils. Ils exécuteront également à leurs frais, et à titre de secours, un branchement d'échappement à l'air libre.

ART. 4. — Conditions techniques. — *Sécurité.* — Les appareils à vapeur rempliront toutes les conditions imposées par les lois et règlements en vigueur en France, à moins que des dérogations à ces conditions ne soient accordées par M. le Ministre des Travaux publics ; pourront notamment bénéficier de telles dérogations les appareils à vapeur de construction étrangère remplissant les conditions imposées par les lois et règlements de leur pays d'origine, lorsque l'équivalence de ces conditions et de celles édictées par les lois et règlements français, aura été reconnue en ce qui concerne la sécurité publique. L'Administration, sur l'avoir du Comité technique des machines, pourra imposer telles autres mesures ou tels autres appareils de sécurité que lui semblerait exiger le fonctionnement des appareils à proximité de la circulation publique.

Plans des appareils. — Les dessins des appareils proposés, tant pour la production de la vapeur que pour les services annexes des chaudières, seront préalablement remis au Directeur général de l'exploitation et soumis par lui à l'examen et à l'acceptation du Comité technique des machines ; chaque marché particulier relatif à la fourniture de vapeur ne pourra être conclu par l'Administration qu'après avis favorable du Comité au sujet de ces plans, dont un exemplaire certifié conforme sera annexé à chacun des duplicates dudit marché. Les chaudières et leurs accessoires seront établis, les formalités accomplies et les dispositions réglementaires observées pour une marche normale à une pression de 11 kg. effectifs par centimètre carré.

Plans d'installation. — L'ensemble et les détails de l'installation feront l'objet de plans qui seront également soumis au Comité technique des machines ; ce Comité formulera les conditions auxquelles devra se conformer le fournisseur pour les agencements de l'installation qui lui est confiée.

Le Comité pourra notamment exiger des dispositions satisfaisantes et sûres pour isoler les chaudières des carneaux de fumée et des tuyaux d'eau, de vapeur, etc...

Les moyens d'alimentation devront donner toute sécurité de bon service et être toujours entretenus en parfait état.

Les foyers devront être disposés pour éviter la production de fumée opaque avec le combustible adopté par le fournisseur.

ART. 5. — Mesure de la vapeur produite et contrôle de la fourniture. — Les constructeurs s'engagent à monter sur leurs chaudières les appareils indicateurs ou de vérification dont le Directeur général de l'exploitation jugera utile de demander la pose, et à laisser faire telles expériences que le Comité technique des machines et le jury des récompenses réclameront.

Les constructeurs fourniront, poseront et entretiendront à leurs frais, pendant toute la durée de l'Exposition, un compteur d'eau d'un des modèles agréés par l'Administration de l'Exposition, sur la conduite fournissant l'eau d'alimentation à leurs chaudières ; les indications de cet appareil seront relevées chaque jour par l'Inspecteur du Service mécanique, qui conservera la clef dudit compteur. Deux cachets seront apposés par l'Inspecteur sur les tubulures d'entrée et de sortie de ce compteur.

Les constructeurs s'interdisent d'opérer la vidange de leurs chaudières autrement qu'en présence dudit Inspecteur, et ils seront tenus de veiller à la fermeture du robinet d'évacuation ou de purge, de façon à ne pas fausser les résultats de la vaporisation.

Une prise de vapeur spéciale placée en aval du robinet de prise de vapeur, dans les conditions qui seront prescrites par le Directeur général de l'Exploitation, sera disposée de manière à permettre la mesure de l'eau entraînée.

Des dispositions seront également prises pour permettre l'évaluation des températures des fumées au sortir des chaudières et l'analyse des gaz de la combustion.

ART. 6. — Durée de la fourniture. — La durée de la fourniture est celle de l'Exposition elle-même, c'est-à-dire du 15 avril au 5 novembre, soit 205 jours.

L'Administration de l'Exposition aura le droit de prolonger ou de diminuer cette durée sans que l'augmentation ou la diminution puisse excéder 30 jours. Le cas échéant, il ne sera fait de ce chef aucune modification à la partie de la rémunération allouée au titre de frais d'installation.

ART. 7. — *Date de la livraison.* — Les fournisseurs s'engagent à commencer les travaux de maçonnerie au plus tard le 15 octobre 1899, faute par eux d'avoir pris possession, à cette date, de l'emplacement qui leur aura été concédé et d'être en mesure de justifier d'un état d'avancement des générateurs dans leurs ateliers qui assure l'accomplissement en temps utile de toutes leurs obligations envers l'Exposition, l'Administration aura la faculté de résilier sans indemnité le marché de fourniture et de disposer à son gré de l'emplacement non occupé.

Lesdits fournisseurs devront avoir terminé l'installation complète des chaudières et de leurs accessoires au plus tard le 1^{er} mars 1900. A cette date, les foyers seront allumés et les appareils seront essayés par les soins des constructeurs et avec l'aide de leur personnel, sous le contrôle des inspecteurs du service des installations mécaniques. Il sera dressé procès-verbal de ces essais et des résultats constatés.

Ces essais pourront, au gré de l'Administration, être renouvelés à toute époque, au cours de la fourniture.

ART. 8. — *Durée du travail journalier.* — La durée du travail journalier et la répartition des heures de travail dans le cours de chaque journée seront fixées par le Directeur général de l'Exploitation en raison des besoins du service.

Les fournisseurs seront tenus de mettre en tout temps à la disposition de l'Administration la quantité horaire de vapeur qu'ils se sont engagés à produire. Il sera établi par le Directeur général de l'Exploitation, entre les divers groupes des chaudières, un roulement de travail permettant d'obtenir une répartition aussi équitable que possible des périodes de travail ou de repos de manière à faciliter les opérations courantes de visite, de nettoyage et d'entretien des appareils sans nuire à la régularité du service général.

ART. 9. — *Conditions financières de l'Entreprise.* — L'eau d'alimentation sera délivrée gratuitement aux chaudières, dans les conditions indiquées à l'article 3.

Ainsi qu'il est expliqué au dit article, les carneaux de fumée, ainsi que les tuyautages généraux de vapeur, d'alimentation, de vidange et d'échappement aux condenseurs, seront fournis par l'Administration et à ses frais ; mais les branchements reliant les chaudières à ces carneaux ou tuyautages seront établis par les constructeurs et à leurs frais, ainsi que tous registres, robinets, caniveaux et en général, toutes les fournitures ou travaux accessoires.

Un hangar, abritant les chaudières et leurs chambres de chauffe sera établi par l'Administration. Les matières consommables, les frais de personnel et toutes autres dépenses, quelles qu'elles soient, tant pour l'installation que pour l'exploitation et les essais, resteront au compte des fournisseurs.

L'exploitation se fera donc entièrement aux frais desdits fournisseurs, notamment en ce qui concerne le combustible, le personnel, etc. et les dépenses seront réglées par eux sans aucune intervention et sans aucune responsabilité de l'Administration qui ne pourra en aucun cas être considérée comme garantie des dépenses faites dans l'enceinte de l'Exposition, par les constructeurs chargés de l'entreprise de la fourniture de vapeur. Dans l'enceinte de l'Exposition, le combustible, les cendres, les escarbilles ne pourront être convoyés et emmagasinés qu'en sacs.

Il sera alloué aux constructeurs une rémunération qui comprendra :

1^o Une somme représentant la part contributive à forfait de l'Administration de l'Exposition aux frais d'installation des chaudières et de leurs accessoires, laquelle somme est fixée à 1 500 francs par 1 000 kg. de capacité productive à l'heure, admise par l'Administration et figurant au marché particulier de chaque fournisseur. Cette capacité productive sera fixée par le Comité technique des machines et ne dépassera en aucun cas 600 kg. par mètre carré de grille.

2^o Une somme représentant la part contributive de l'Administration de l'Exposition aux dépenses d'exploitation, laquelle somme est fixée à 4 fr. 45 par 1 000 kg. de vapeur effectivement produite en marche utile, de l'ouverture de l'Exposition à sa fermeture, et pendant les heures de travail qui seront fixées par le Directeur général de l'Exploitation.

ART. 10. — *Epoques de paiement.* — Le montant des rémunérations prévues à l'article précédent sera payé aux époques suivantes :

Le 10 juillet 1900, pour la vapeur produite depuis l'ouverture de l'Exposition jusqu'au 15 juin.

Le 10 septembre, pour la vapeur produite du 15 juin au 15 août.

Un mois après la fermeture de l'Exposition pour la vapeur produite après le 15 août.

Le montant de la rémunération allouée au titre de frais d'installation sera payé par tiers aux mêmes échéances.

ART. 11. — *Retenues en cas de retard dans l'installation.* — En cas de retard sur le délai fixé à l'article 7 pour l'achèvement complet de l'installation, les fournisseurs subiront, par chaque jour de retard, et sur les sommes qui pourront ultérieurement leur être dues par l'Administration :

1^o Une retenue égale à l'allocation correspondant pour les appareils considérés à leur marche normale pendant une journée de 7 heures de travail ;

2^o Une retenue sur l'indemnité allouée au titre de frais d'installation, retenue qui sera calculée en multipliant le montant de cette indemnité par un coefficient de réduction égal au rapport du nombre de jours de retard à celui de la durée totale de l'Exposition.

ART. 12. — *Résiliation en cas de retard dépassant la date du 15 mai 1900.* — Si les appareils ne sont pas en état de fournir un service régulier le 15 mai 1900, l'Administration aura le droit de prononcer la résiliation pure et simple du contrat intervenu entre elle et le fournisseur sans qu'il y ait lieu de part ni d'autre à indemnité ou à dommages-intérêts ; mais aussi, sans que l'Administration soit tenue de payer au fournisseur intéressé aucune rémunération, même celle stipulée au titre de frais d'installation.

ART. 13. — *Retenues en cas d'interruption dans le fonctionnement.* — Dans le cas d'interruption du fonctionnement, en dehors des heures de repos fixées par le roulement de service établi par le Directeur général de l'Exploitation, le fournisseur subira sur toutes les sommes qui pourront, soit alors, soit ultérieurement, lui être dues par l'administration et, pour chaque jour pendant lequel une telle interruption se sera produite, une retenue égale à l'allocation correspondant, pour les appareils considérés, à leur marche normale pendant une journée de 7 heures de travail.

Si l'interruption dépasse 10 jours, il sera prélevé une deuxième retenue sur la rémunération allouée au titre de frais d'installation, retenue qui sera calculée en multipliant le montant de cette rémunération par un coefficient égal au rapport du nombre de jours de l'interruption à celui de la durée totale de l'Exposition.

ART. 14. — *Etablissement des comptes.* — L'Administration de l'Exposition se réserve le droit de prendre, pour le règlement des comptes, toutes les mesures et de faire tous les essais de nature à la renseigner aussi exactement que possible sur la production des générateurs.

ART. 15. — *Réglementation.* — Les constructeurs se conformeront aux lois et règlements en vigueur concernant les appareils à vapeur, à tous les règlements qui seront imposés aux exposants et à toutes les prescriptions spéciales de la Direction générale de l'Exploitation.

ART. 16. — *Personnel.* — Le Directeur général de l'Exploitation aura le droit d'exiger le renvoi des agents ou ouvriers des fournisseurs pour insubordination, incapacité, intempérance ou défaut de probité.

ART. 17. — *Responsabilité.* — Les fournisseurs devront prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer la sécurité des visiteurs. Ils seront responsables vis-à-vis de l'Administration comme vis-à-vis des tiers de tous les dommages provenant de leur matériel ou de leur personnel.

ART. 18. — *Service médical.* — Les constructeurs prenant part à la fourniture des chaudières à vapeur destinées au service de l'Exposition, étant considérés comme exposants ainsi qu'il est stipulé à l'article 2 des présentes conditions générales, ne sont pas assimilés aux Entrepreneurs des Travaux de l'Exposition et, en conséquence, le montant de leurs fournitures ne sera pas soumis au prélèvement de 1 % en faveur du service médical prescrit par l'article 16 des clauses et conditions générales imposées aux dits entrepreneurs ; par contre, leurs ouvriers, en cas de blessures ou de maladies occasionnées par les travaux, n'auront droit qu'aux premiers secours de l'art et les dispositions prévues aux articles 3 et 4 de l'Arrêté ministériel du 13 janvier 1897 ne seront pas applicables.

ART. 19. — *Règlement des contestations.* — Les contestations qui pourraient s'élever entre l'Administration de l'Exposition et les fournisseurs seront préalablement à toute action contentieuse, examinées par trois personnes compétentes prises dans le Comité technique des machines.

L'une de ces personnes sera désignée par le Commissaire général de l'Exposition de 1900, la deuxième par le réclamant et la troisième par les deux premières.

Les fournisseurs s'engagent formellement à ne pas ouvrir d'instance contentieuse avant d'avoir pris l'avocat du Conseil de conciliation composé comme il vient d'être exposé.

Paris, le 18 août 1898.

A ces conditions générales imposées aux fournisseurs de vapeur, le Comité technique des machines, dans une séance tenue en mars 1899, a cru devoir ajouter quelques prescriptions supplémentaires, savoir:

1^o La plupart des chaudières en service à l'Exposition devant être des chaudières multitubulaires il est recommandé que les portes des foyers et des cendriers soient disposées pour se fermer automatiquement en cas de rupture d'un tube, et que des trappes d'expansion soient ménagées à la partie supérieure des fourneaux.

2^o Les chaudières qui ne sont pas du type multitubulaire auront leurs portes de foyer solidement loquetées.

3^o Les portes des boîtes à fumée doivent être pourvues d'une fermeture solide et de barres de sûreté.

4^o Les prises de vapeur des chaudières seront munies d'un clapet automatique d'arrêt pouvant assurer la fermeture, tant dans le sens de l'écoulement de la vapeur que dans le sens inverse.

5^o Il est formellement interdit de serrer les joints à chaud.

6^o Les tubes de verre de tous les indicateurs seront entourés de pare-éclats.

7^o Il est recommandé de placer la vanne d'arrêt de chaque chaudière au point le plus haut possible du tuyau de raccordement qui la reliera à la canalisation principale, pour que les condensations puissent toujours soit retomber dans la chaudière, soit s'écouler dans le collecteur, mais non s'accumuler près de la vanne. Dans les cas où cette disposition ne pourrait être adoptée, un purgeur automatique, susceptible de fonctionner pendant la marche comme pendant l'arrêt, devrait être installé à chacun des points bas de raccordement.

Enfin, le Comité technique des machines, avant d'examiner les chaudières proposées, décida en principe, qu'aucun générateur ne serait admis à fonctionner dans l'intérieur de l'Exposition si le constructeur ne pouvait fournir, comme références, une installation au moins de chaudières semblables sortant de ses ateliers.

Nous donnons dans le tableau suivant les noms des 19 constructeurs français et étrangers, qui furent admis à installer 94 chaudières, dont 92 au Champ-de-Mars et 2 à l'annexe de Vincennes, pour le service de la force motrice à l'Exposition. L'installation du Champ-de-Mars a été divisée, ainsi que nous l'avons dit précédemment, en deux usines : (voir le plan d'ensemble *Pl. 1*).

1^o Usine La Bourdonnais avec 50 chaudières.

2^o Usine Suffren avec 42 chaudières.

Quatre générateurs, présentés par des constructeurs allemands et américains, ne remplissaient pas les conditions exigées par les règlements français, tout en répondant aux prescriptions en usage dans leur pays d'origine. Une demande en dérogation leur a été accordée par le Ministre des Travaux publics.

Générateurs de vapeur

Chaudières en fonctionnement à l'Exposition

NOMS DES CONSTRUCTEURS	DÉSIGNATION des chaudières		SURFACE de chauffe		SURFACE de grille		RAP- PORT <u>S</u> <u>G</u>	VAPORISATION admise				PRESSION
	TYPE	NOMBRE	par chaudière <u>S</u>	totale	par chaudière <u>G</u>	totale		par chaudière	totale	par m ² de surface de chauffe	par m ² de surface de grille	
Biétrix, Leflaine, Nicolet, à Saint-Étienne	multitubulaire	1	159 »	159 »	4,50	4,50	35,3	2.700	2.700	17 »	600	11
Babcock et Wilcox (Cie) à Paris	multitubulaire	8	470 »	1.360 »	3,11	24,88	54,6	1.875	15.000	11 »	600	11
Crépelle-Fontaine à La Madeleine-Lille	multitubulaire marine	4	301 »	1.204 »	6,17	24,68	48,7	3.750	15.000	12,4	600	11
Ewald Berninghaus à Duisburg	multitubulaire	2	156 »	312 »	4,1	8,20	38 »	2.500	5.000	16 »	600	11
Fitzner et Gamper à Sosnovice	Cornwall	1	176,4	176,4	5,72	5,72	31 »	3.000	3.000	19,2	565	11
Fives-Lille (Cie de)	multitubulaire	4	250 »	1.000 »	4,40	17,60	56,8	2.650	10.600	10,60	600	11
Galloway's Ltd, à Manchester	semi-tubulaire	1	125 »	125 »	4,45	4,45	28 »	2.670	2.670	21 »	600	11
Mathot (Société) à Roux-lez-Arras	Galloway	3	150 »	150 »	3,40	3,40	44 »	2.050	2.050	13,60	600	11
Montupet à Paris	multitubulaire	6	210 »	630 »	3,60	10,80	58,3	2.100	6.300	10 »	600	11
Naecker (Cie de) à Villebroek	multitubulaire	4	109 »	654 »	4,50	27 »	24,4	2.700	16.200	24,70	600	11
Niclausse (J. et A.) à Paris	multitubulaire marine	2	348 »	1.392 »	9,25	37 »	37 »	5.200	20.800	16 »	590	11
Pauksch à Landsberg-sur-la-Warthe	semi-tubulaire	2	168 »	336 »	6 »	12 »	28 »	3.500	7.000	21 »	590	11
Petzold à Inowrazlaw	multitubulaire	1	54 »	54 »	1,46	1,46	37 »	800	800	16 »	600	11
Petry-Dereux à Duren	multitubulaire marine	3	135 »	405 »	3,60	10,80	37,5	2.000	6.000	14,8	580	11
Roser à Saint-Denis	semi-tubulaire	2	83 »	166 »	2,88	5,76	28,8	1.700	3.400	20,4	600	11
Solignac, Grille et Cie à Paris	multitubulaire	1	37,50	37,50	1,10	1,10	34 »	600	600	16 »	560	11
Simonis et Lanz à Berlin	multitubulaire	10	215 »	2.150 »	5,74	57,40	37,4	3.450	34.500	16 »	600	11
Steinmüller à Gummersbach	Cornwall	21	100,16	2.103,36	2,94	61,74	34 »	1.667	35.000	16,7	565	11
Morrin, Climax, Boiler (Etats-Unis)	Cornwall	2	50 »	100 »	1,62	3,24	31 »	975	1.950	19,5	600	11
Totaux	multitubulaire	6	260 »	1.560 »	5,84	35,04	44,5	3.334	20.000	12,8	570	11
		1	36 »	36 »	1,75	1,75	20,5	1.150	1.150	31,9	580	11
		1	215 »	215 »	5,40	5,40	40 »	3.250	3.250	15 »	600	11
		5	254 »	1.270 »	5,62	28,10	45 »	3.400	17.000	13,40	600	11
	multifibulaire hérisson	2	227,55	455,10	5,52	11,04	41,2	3.400	6.800	15 »	600	11
				moyenne.		moyen.		moyenne		moyen.	moy.	

L'examen du tableau permet de faire ressortir quelques chiffres intéressants au point de vue de la capacité productive des chaudières et de la vaporisation par mètre carré de surface de chauffe.

La capacité productive par chaudière varie de 650 à 5 200 kg. à l'heure ; la moyenne est de 2 550 kg.

La surface de chauffe totale atteint 16 603 m² de sorte que la vaporisation moyenne par mètre carré de surface de chauffe est de 14^k,700 ; elle varie naturellement dans des limites assez grandes avec le type de chaudière et le rapport $\frac{S}{G}$.

CHAPITRE II

TRAVAUX D'INSTALLATION POUR LES GÉNÉRATEURS EN FONCTIONNEMENT

1^o Carneaux de fumée.

Les chaudières qui devaient assurer le service de la force motrice ayant été reparties entre deux usines bien distinctes, il était indispensable que chacune de ces deux usines eût son installation d'ensemble complète, ses carneaux de fumée et sa cheminée particulière. Il fallait de plus que les carneaux principaux fussent établis de manière à faciliter le raccordement avec les carneaux de chaque chaudière admise, bien que la répartition et la nature même des générateurs aient été inconnues au moment de l'élaboration des projets ; enfin, ces travaux ne devaient gêner en aucune façon l'installation des voies ferrées et la construction des massifs de fondations des chaudières.

M. Ch. Bourdon proposa la solution ingénieuse que nous allons décrire et qui fut adoptée par l'Administration. Elle consiste à établir pour chaque usine deux carneaux principaux à sections croissantes vers la cheminée, avec raccordements, pour les carneaux particuliers, à différentes profondeurs. (Voir *Pl. 2*).

Ces deux carneaux souterrains sont parallèles à l'axe du bâtiment des chaudières sur une longueur de 91 m. ; ils se séparent à 19 m. du centre de la cheminée, et dévient dans deux directions opposées, pour

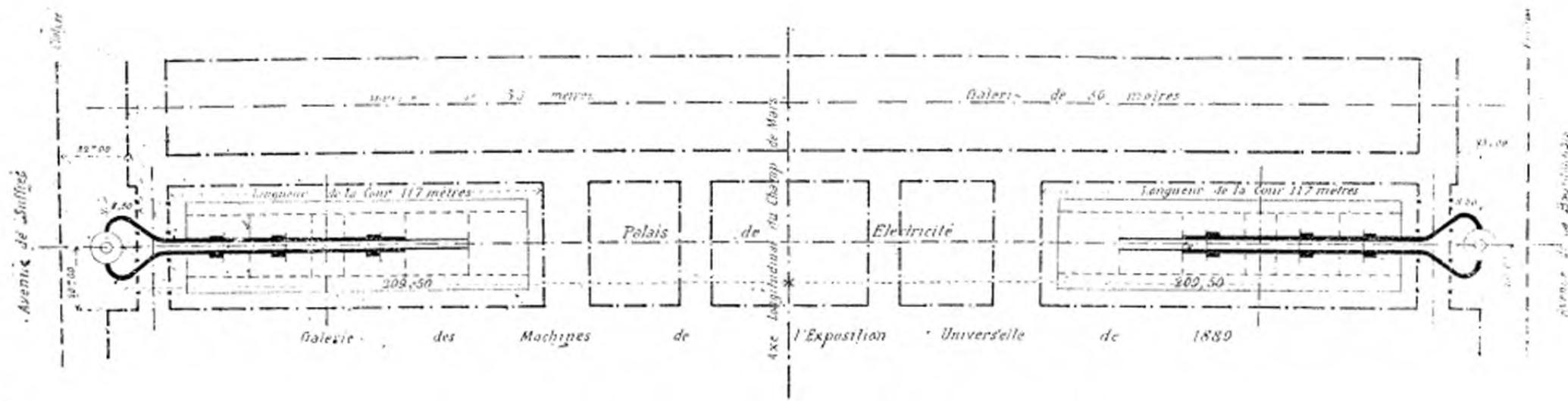


Fig. 4. — Disposition d'ensemble des carreaux de fumée aux Usines Suffren et La Bourdonnais

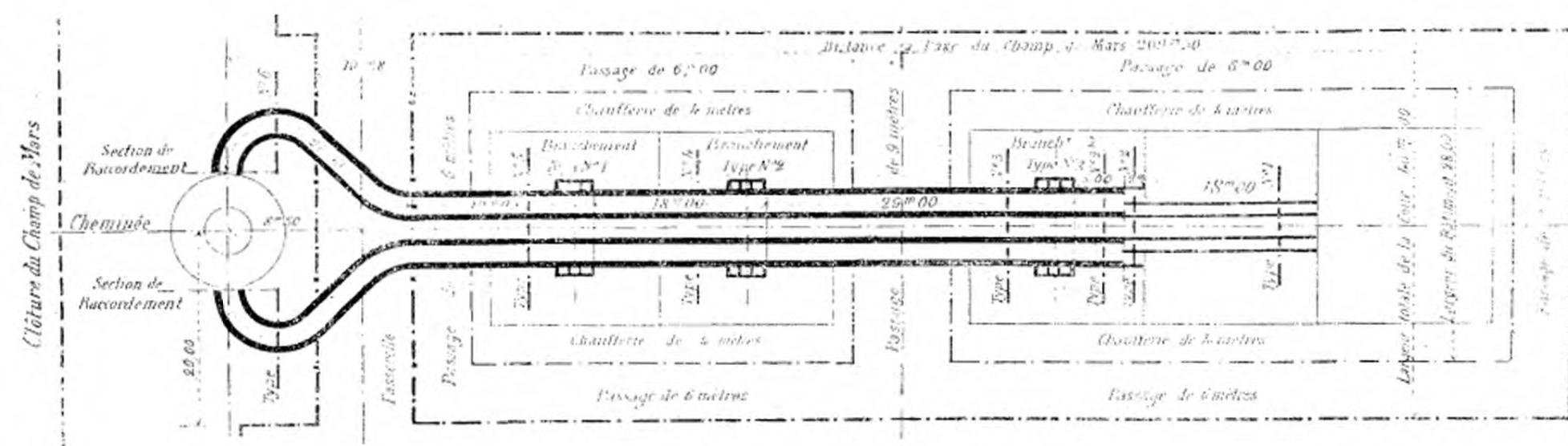


Fig. 2. — Plan des carneaux, côté Suffren.

converger finalement en deux points diamétralement opposés des fondations de la cheminée.

Section Type N° 1.

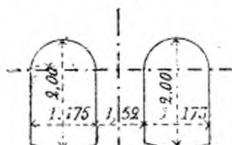


Fig. 3.

Section Type N° 2.

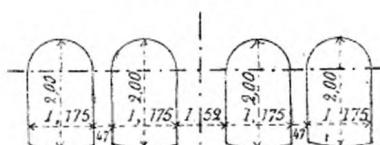


Fig. 4.

Section Type N° 4.

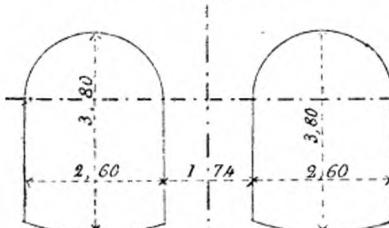


Fig. 6.

Section Type N° 3



Fig. 5.

Section Type N° 5

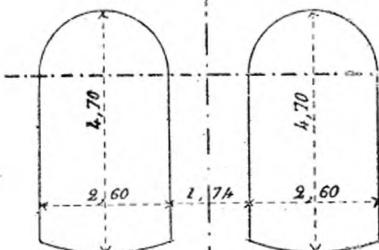


Fig. 7.

Section Type N° 6

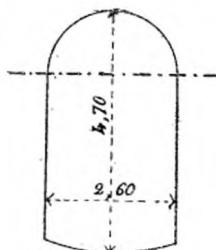


Fig. 8.

Ils ne sont pas accolés ; leurs piédroits se prolongent jusqu'à 0^m,30 au-dessous du niveau général du sol, sauf sur la longueur correspondante aux deux sections de départ, afin de présenter un appui solide à la partie arrière des chaudières en même temps qu'à la voie ferrée.

Nous avons vu que les deux usines devaient être capables de fournir 150 à 200 000 kg. de vapeur à l'heure, soit 100 000 kg. environ pour chaque usine. Il fut donc admis, en principe, que chacun des deux carreaux d'une usine recevrait les fumées de 5 groupes de chaudières,

produisant 10 000 kg. par groupe, soit 30 000 kg. par carneau, de sorte que l'unité devenait le groupe capable de vaporiser 10 000 kg. à l'heure.

En adoptant une vaporisation d'eau de 7^k,300 par kilogramme de combustible, la quantité de charbon à brûler par heure devait être, pour ce groupe :

$$\frac{10.000}{7,5} = 1.333 \text{ kilos}$$

et la surface de grille correspondante :

$$\frac{10.000}{600} = 16^{m^2},66$$

La combustion par mètre carré de grille atteignait ainsi :

$$\frac{1.333}{16,66} = 80 \text{ kilos}$$

La section du carneau devant être égale au 1/8 de la surface de grille, serait donc de 2^{m²},20.

Cette section (fig. 9) a été obtenue par une galerie en plein cintre de 1^m,175 de largeur et 2 m. de hauteur.

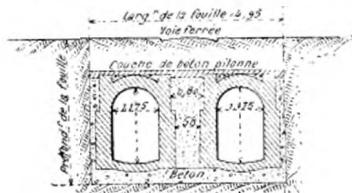


Fig. 9. — Coupe, type n° 4.

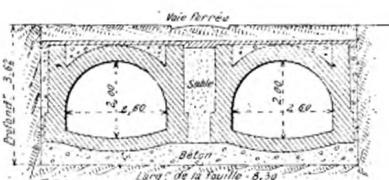


Fig. 10. — Coupe, type n° 2 bis.

Le second groupe de chaudières débouche dans un bout de carneau de dimensions identiques, juxtaposé au précédent, dont il est séparé par un mur en briques de 47 cm., d'épaisseur. La largeur totale se trouve ainsi doublée (voir section type n° 2, Pl. 2). En continuant de la même façon pour les raccordements des autres groupes, on serait arrivé à une largeur considérable ; aussi a-t-on appliqué une autre disposition en réalisant l'accroissement de section nécessaire par une augmentation des dimensions, en profondeur. Les deux sections primitives ont été réunies en une seule (fig. 10) avec une largeur de galerie de 2^m,60 qui devait rester invariable pour les autres sections, alors que les hauteurs, correspondantes passaient successivement à 2^m,15, 2^m,90,

3^m,80 et 4^m,70, le niveau de l'intrados de la voûte restant constant. Il

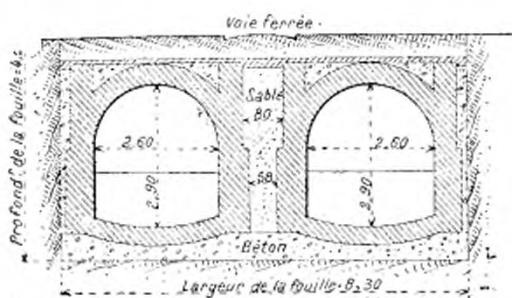


Fig. 44. — Coupe, type n° 3.

de la voûte restant constant. Il en est résulté pour le radier, une série de redents dans le sens de la longueur, et les fouilles ont atteint une largeur totale de 8^m,30 qui a nécessité, pour les terres, des blindages assez importants.

Le raccordement des carneaux secondaires avec les car-

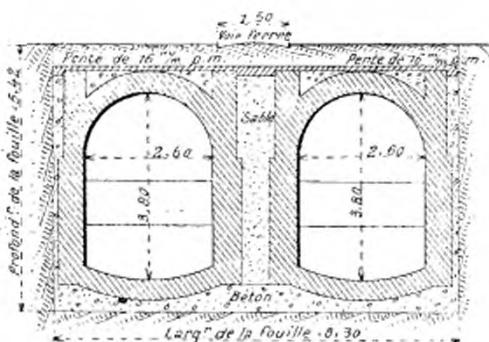


Fig. 42. — Coupe, type n° 4.

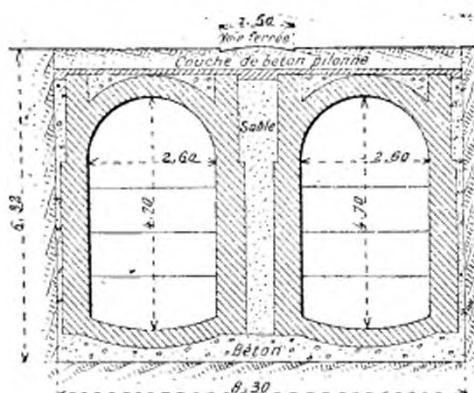


Fig. 43. — Coupe, type n° 5.

neaux principaux a été obtenu de façon à éviter qu'une maladresse ou

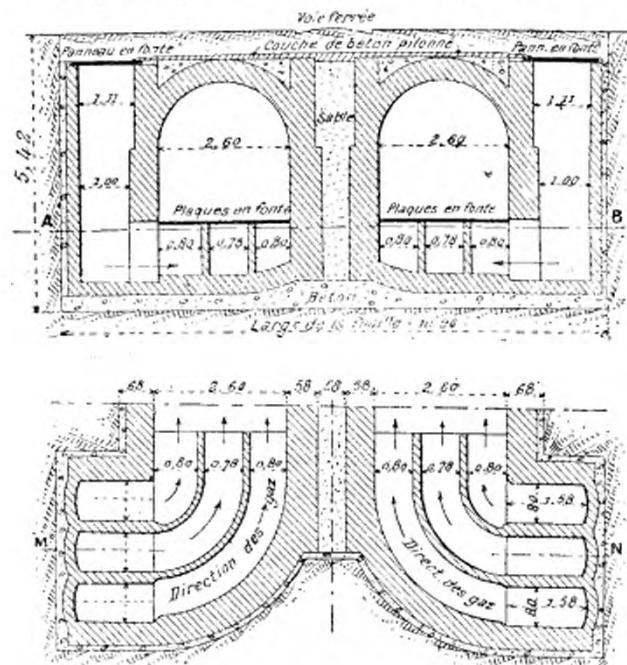


Fig. 14 et 15.— Branchements avec deux groupes de chaudières.

une négligence, en cas de réparation des maçonneries d'un carneau quelconque, empêchait le tirage des chaudières plus éloignées de la cheminée.

Les fig. 14 et 15 donnent le détail de construction d'un de ces branchements. Les carreaux secondaires venant des générateurs débouchent latéralement, au-dessous du carreau principal, par des orifices voûtés qui

se continuent en courbes pour ramener les gaz dans la direction du courant.

Les côtés des orifices courbes sont formés par les murs mêmes des carreaux et par des murettes en briques de 11 cm. Ils sont recouverts de plaques en fonte de 25 mm. d'épaisseur, portant des treillis en fils de fer avec mailles de 4 cm. de côté, et reposant sur des corbeaux formés de deux rangs de briques prises dans les piédroits des carreaux.

Ces importants travaux ont été exécutés par MM. Nicou et Demarigny, entrepreneurs, après une adjudication sur les devis et cahier des charges suivants, établis par l'Administration de l'Exposition.

Dispositions générales.

CHAPITRE PREMIER

ARTICLE PREMIER. — *Objet de l'adjudication.* — L'entreprise a pour objet :

1^o La construction des deux groupes de carreaux principaux de fumée destinés à desservir les deux batteries de générateurs qui seront établies dans les emplacements dits cours de la force motrice, lesquelles auront 40 m. de largeur sur 117 m. de longueur, et seront ménagées de part et d'autre du Palais Central de l'Électricité, entre l'ancien Palais des Machines de 1889 et les nouveaux bâtiments à édifier dans le Champs-de-Mars.

Chacun de ces groupes se composera de deux carreaux parallèles situés de part et d'autre de l'axe desdites cours. Ils seront formés de six tronçons de sections croissantes et ils se termineront du côté des avenues Suffren et La Bourdonnais, par deux parties courbes formant les raccordements avec les fondations des cheminées correspondantes.

2^o L'exécution de tous les ouvrages, travaux et fournitures accessoires, tels que :

Les conduits verticaux destinés à recevoir les gaz venant des générateurs ;

Les raccordements de ces conduits avec les carreaux principaux et les prolongements courbes de ces conduits servant à guider les gaz à la partie inférieure desdits carreaux ;

La fourniture et la pose des plaques de fonte formant le dessus de ces prolongements courbes ;

La fourniture et la pose des tampons avec cadres en fonte, servant à fermer la partie supérieure des conduits verticaux ;

Les cloisons provisoires en briques destinées à fermer les extrémités des carreaux horizontaux, sur lesquelles se raccorderont ultérieurement des carreaux secondaires venant des générateurs.

Le tout tel qu'il est indiqué aux plans ci-annexés et décrit au présent devis et cahier des charges.

ART. 2. — *Montant de l'adjudication. Bordereau des prix.* — L'adjudication est faite aux prix du bordereau ci-joint.

Le montant de l'entreprise est évalué à 250 000 francs, non compris une somme de 25 000 francs pour travaux éventuels et imprévus.

ART. 3. — *Cautionnement.* — Chaque postulant à l'adjudication devra justifier, en déposant sa soumission, du versement préalable à la Caisse des dépôts et consignations d'un cautionnement provisoire de 9 000 francs. Ce cautionnement provisoire servira à l'adjudicataire de cautionnement définitif pour la garantie de l'exécution de son marché.

ART. 4. — *Délais d'exécution.* — Les travaux seront commencés huit jours après la date de la remise de l'ordre de service d'exécution par l'Ingénieur en chef des installations mécaniques, et, au plus tôt, le 1^{er} novembre 1898.

Ils se poursuivront sans interruption et de manière à être achevés dans les délais fixés par les ordres de service, lesquels n'excèderont pas, au total, une durée de six mois.

L'Ingénieur en chef aura le droit de déterminer, au commencement de chaque mois, l'importance

et la nature du travail à exécuter pendant le mois courant, ainsi que le nombre et l'importance des ateliers à ouvrir.

ART. 5. — Ordre d'exécution. Approvisionnements. — Les travaux seront dirigés suivant l'ordre qui aura été établi par l'Ingénieur en chef, et l'adjudicataire devra prendre toutes les dispositions nécessaires pour faciliter l'exécution des travaux des entreprises diverses qui se poursuivront simultanément avec la sienne.

Il ne pourra, de ce fait, exiger aucune plus-value et n'aura droit à aucune indemnité, lors même que l'application des ordres donnés lui occasionnerait une main-d'œuvre et des frais supplémentaires.

L'adjudicataire sera tenu d'avoir toujours sur les chantiers les quantités de matériaux en approvisionnement et le nombre d'ouvriers prescrit par l'Ingénieur en chef.

Il ne pourra détourner pour un autre service aucun ouvrier ni aucune partie des matériaux approvisionnés.

ART. 6. — Ouvriers étrangers. — L'entrepreneur ne pourra employer à ses travaux plus d'un dixième d'ouvriers étrangers.

ART. 7. — Pénalités pour retards. — Faute par l'entrepreneur d'avoir terminé les travaux dans le délai fixé par les ordres de service, chaque jour de retard non justifié donnera lieu à une retenue de 30 francs.

Les retenues ainsi opérées seront acquises à l'Administration par le seul fait des retards, sans qu'il soit besoin de mise en demeure ou autre formalité préalable.

Cette pénalité s'appliquera aussi aux retards apportés dans la remise des attachements et décomptes, mais, dans ce cas, elle sera seulement de 10 francs par jour.

Dans le cas où l'exécution des travaux se trouverait entravée par une circonstance indépendante de l'entrepreneur, telle que : retard dans la mise en possession des emplacements, inondation des fouilles, etc., l'adjudicataire serait admis à présenter dans les vingt-quatre heures une réclamation au Directeur général de l'Exploitation ; les délais seraient prolongés, s'il y avait lieu, en raison du temps perdu, mais il ne serait dû à l'entrepreneur aucune indemnité pour cela.

CHAPITRE II

Exécution des ouvrages.

ART. 8. — Nature des travaux. — Les travaux à exécuter par l'adjudicataire comprennent :

- 1^o Toutes opérations de piquetage et de nivellement ;
- 2^o Toutes fouilles, tous chargements et transports de terre à la décharge publique, mise en cavalier, reprise de ces terres, remblayage, régâlage, pilonnage et damage ;
- 3^o Toutes fournitures, poses et déposes d'échafaudages ou blindages.
- 4^o Tous épuisements d'eau,
- 5^o Toutes démolitions de vieilles maçonneries rencontrées dans les fouilles.
- 6^o Toutes maçonneries de briques, assises et garnissages en béton, remplissages en sable pilonné chape en mortier de ciment etc.
- 7^o La fourniture et la pose des plaques de fonte formant le dessus des prolongements courbes des conduits verticaux.
- 8^o La fourniture et la pose des tampons avec cadre en fonte formant la partie supérieure des conduits verticaux, ainsi que celles des solives en fer servant d'appui aux dits tampons.

ART. 9. — Terrassements. — L'Entrepreneur aura à exécuter toutes les opérations, de quelque nature qu'elles soient, nécessaires au dégagement des espaces dans lesquels se trouveront les carreaux, et, s'il y a lieu, au remblayage, jusqu'à la cote donnée par l'Administration, des excavations qui subsisteront après l'exécution des maçonneries.

Pour ce remblayage, les terres seront mouillées et pilonnées par couches de 0^m,20.

Toutes les fois que le terrain ne devra pas présenter la consistance voulue pour recevoir la maçonnerie, il pourra y avoir lieu, sur l'ordre de l'Ingénieur en chef, à approfondissement de la fouille et confection d'une forme en sable et cailloux.

La remise en état de la forme du sol se fera, suivant les instructions qui seront données, à l'aide de terres, de sable ou de cailloux mouillés et pilonnés par couches de 0^m,15 d'épaisseur.

ART. 10. — *Composition des bétons et mortiers.* — Les bétons et mortiers seront dosés comme suit :

<i>Béton :</i>	
Ciment de laitier	150 kg.
pour 1 m ³ de cailloux cassés et lavés et un demi-mètre cube de sable dragué.	
<i>Mortier n° 1 :</i>	
Chaux hydraulique de Besse	125 kg.
Ciment de Portland	200 *
par mètre cube de sable tamisé.	
<i>Mortier n° 2 :</i>	
Ciment de Portland	300 kg.
par mètre cube de sable tamisé.	

ART. 11. — *Maçonnerie.* — Le gros œuvre des carreaux et des conduits verticaux sera exécuté en briques, façon Bourgogne, houardées de mortier n° 1. Les briques devront être parfaitement cuites, sonores, de même échantillon et de dimensions bien uniformes. Les joints seront pleins, sans bavure ; leur épaisseur n'excèdera pas 0^m,006 et ils seront régulièrement croisés à chaque assise.

Toutes les surfaces intérieures, parois droites et voûtes, devront être livrées parfaitement lisses.

Les piédroits des voûtes se prolongeront jusqu'au niveau supérieur de l'extrados, comme il est indiqué sur les dessins.

L'ensemble des deux lignes de carreaux, ainsi que les conduits verticaux, reposeront sur une couche de béton comme il est dit à l'article 10, et dont la forme et les dimensions seront celles indiquées sur les plans.

Entre la paroi de la fouille et l'extérieur de la maçonnerie, il sera ménagé un vide dans lequel on pilonnera du béton à mesure que les piédroits des voûtes s'élèveront. Cette couche de béton enveloppera les carreaux dans toute leur longueur et contournera les conduits verticaux comme le montrent les plans ; elle aura 0^m,10 d'épaisseur à la base et 0^m,20 à la partie supérieure des maçonneries.

L'espace compris entre les piédroits intérieurs des deux lignes de carreaux sera rempli avec du sable mouillé et pilonné par couches de 0^m,15.

A la partie supérieure des voûtes, on remplira avec du béton les intervalles compris entre les prolongements des piédroits ; on formera ainsi une couche générale recouvrant l'ensemble de la construction. Sur cette couche de béton, il sera fait, en mortier n° 2, un enduit de 0^m,01 d'épaisseur formant une chape cintrée suivant une courbe ayant une flèche totale de 0^m,06.

Du côté de chaque cheminée, les carreaux se termineront par deux sections droites formant plans de raccordement avec les ouvertures ménagées dans les fondations de ces édifices.

A leur origine, les deux premiers tronçons de chaque groupe de carreaux seront fermés par des cloisons provisoires en briques de 0^m,22 d'épaisseur.

ART. 12. — *Conduits verticaux et prolongements.* — En trois points de la longueur des carreaux principaux, et de chaque côté, sont établis les conduits verticaux dont il a déjà été question et dans lesquels déboucheront ultérieurement les carreaux secondaires venant des génératrices.

Ces conduits descendent jusqu'au niveau du radier des carreaux principaux, ils débouchent dans ceux-ci par des ouvertures voûtées auxquelles font suite des prolongements courbes ramenant les gaz dans la direction du courant général.

Les côtés de ces prolongements courbes seront formés par les murs mêmes des carreaux et par des murettes en briques de 0^m,11 d'épaisseur. Ils seront fermés sur le dessus par des plaques en fonte ayant les formes indiquées sur les plans de détail et de 0^m,25 d'épaisseur. Dans la masse de fonte de ces plaques et à mi-épaisseur sera noyé un treillis en fil de fer de 0^m,004 de diamètre et formant des mailles de 0^m,04 de côté.

Ces plaques reposeront sur les murettes courbes et sur des corbeaux formés par deux rangs de briques prises dans la maçonnerie des piédroits des carreaux.

A leur partie supérieure, les conduits verticaux seront fermés par des tampons en fonte analogues.

gues à des regards de bouches d'égout, exécutés conformément aux dessins. Les cadres en fonte de ces tampons reposeront d'un côté sur la maçonnerie et de l'autre sur des solives en fer.

ART. 13. — Dessins d'exécution. — Avant de commencer un travail, l'adjudicataire devra s'assurer sur plan de l'exactitude des cotes et indications des plans et de la possibilité de les suivre dans l'exécution.

En cas de doute, il devra en donner immédiatement avis à l'Ingénieur; s'il néglige cette formalité, il restera responsable des erreurs qui pourront se produire et des conséquences de toute nature que ces erreurs entraîneront.

L'adjudicataire prendra possession du terrain sur lequel les travaux devront être exécutés, dans l'état où il se trouvera le jour où il recevra l'ordre de commencer les travaux sans pouvoir réclamer d'indemnité ou de délai en raison des difficultés que cet état pourra causer aux travaux soumissionnés.

ART. 14. — Désinfection des déblais ou fouilles. — Dans l'exécution des travaux de terrassement, de nivellation du sol, tranchées et fouilles, si les fouilles et terres qui en sont extraites sont reconnues infectées ou souillées et, par suite, capables de compromettre la santé et la salubrité publiques et d'engendrer des maladies endémiques, épidémiques ou contagieuses, les fouilles et les tranchées, à chaque interruption de travail, seront saupoudrées de sulfate de fer et de chaux vive, à raison de 100 grammes de sulfate de fer pulvérisé et de 200 grammes de chaux vive par mètre carré. Les terres provenant de ces fouilles seront saupoudrées et mélangées des mêmes substances, à raison de 500 grammes de sulfate de fer et de 1 kg. de chaux vive par mètre cube.

Ces terres ne pourront être enlevées qu'aux décharges publiques hors Paris, et, dans des cas spéciaux (terres infectées par des fuites de fosses d'aisances, d'anciens égouts etc...), elles devront être portées aux voiries dans des voitures couvertes qui ne laissent rien répandre au dehors.

Ces obligations constituent une charge de l'entreprise pour laquelle il ne sera alloué aucune indemnité à l'adjudicataire.

CHAPITRE III

Règlement des ouvrages.

ART. 15. — Invariabilité des prix du bordereau. — Les prix portés au bordereau comprennent des travaux absolument complets et parfaits, exécutés suivant les règles de l'art.

Il est expressément entendu que ces prix ne pourront subir aucun changement, même pour cause d'erreur ou d'omission, et qu'aucune plus-value, d'aucune sorte, ne sera admise pour quelque motif que ce soit.

ART. 16. — Accessoires des travaux de terrassements. — Les prix portés pour les fouilles comme ceux qui ont servi à l'établissement des prix forfaitaires portés au bordereau pour les différents ouvrages, sont des prix moyens applicables quelle que soit la profondeur de la fouille ou la nature du sol.

Ils comprennent le nivellation, le dressage des faces et des fonds droits ou courbes, tous les jets sur berges ou sur banquettes et montages par tous les procédés, treuil, hotte, seuil etc. — tous les chargements en brouette ou lombereau, le transport aux décharges publiques, le déchargement, la mise en cavalier, la reprise de terre pour le remblai, le réglage et le pilonnage. Ils comprennent, en outre, tous les étalements et blindages nécessaires pour éviter les éboulements.

L'adjudicataire sera responsable de tous frais et dommages résultant du défaut d'observation de cette clause, et, dans aucun cas, il ne pourra arguer du manque d'ordres de service pour dégager en quoi que ce soit, sur ce point, sa responsabilité, qui restera pleine et entière. En conséquence, l'entrepreneur supporterà ses frais l'enlèvement et le transport des terres provenant des éboulis, les excédents de maçonnerie nécessaires pour combler les vides résultant de l'insuffisance des étalements, ainsi que la perte des blindages, étais, couchis ou cintres et cercles en fer qu'il faudra abandonner dans les fouilles.

Les prix comprennent également toutes plus-values dans l'embarras des étais ou étrésillons en sousœuvre, ainsi que l'eau, quelle qu'en soit la hauteur, et toutes difficultés de cas quelconques. Ils comprennent aussi tous les frais d'épuisement de l'eau dans la hauteur de 0",20 et au-dessous,

d'assainissement ou de désinfection, etc..., dont il est parlé ci-dessus, article 14, et qui sont à la charge de l'entrepreneur comme faisant partie des prix établis.

Les anciennes maçonneries en béton, meulières etc., rencontrées dans les fouilles seront démolies par l'adjudicataire ; mais cette démolition ne sera payée à part qu'autant que chacune des parties à démolir aura un cube supérieur à un demi-mètre cube. Au-dessous de ce volume, lesdites démolitions seront considérées comme fouilles ordinaires et comptées comme telles aux prix des fouilles portés au bordereau.

Les matériaux provenant de ces démolitions resteront la propriété de l'entrepreneur sous la réserve, toutefois, qu'ils ne pourront être réemployés dans les travaux qui font l'objet de la présente adjudication.

L'administration se réserve le droit d'imposer à l'adjudicataire, sans aucune plus-value, le triage et la mise à part, du sable et des cailloux trouvés dans les fouilles. Ces matériaux seront alors nettoyés et déposés en tas, puis emméntrés aux endroits désignés. Ils pourront être réemployés, soit pour la reconstitution d'un bon sol, soit pour effectuer des remblais au-dessus des voûtes soit pour être utilisés plus tard par l'Administration.

Ces diverses mains-d'œuvre ne donneront lieu à aucune indemnité.

L'entrepreneur devra assurer l'écoulement des eaux par tous les moyens nécessaires sur son chantier.

ART. 17. — Accessoires des travaux de maçonnerie. — Les prix des maçonneries diverses qui ont servi à l'établissement des prix forfaitaires par mètre ou par unité portés pour les différents ouvrages au bordereau comprennent toutes fournitures et mains-d'œuvre, transports, bardages, descentes ou montages au treuil, au seau, à la hotte, à la brouette, au tombereau ou au wagonnet, toute plus-value de forte ou de faible épaisseur, de grande ou de petite portée, de parties circulaires ou courbes, de piliers isolés; tous travaux accessoires, tels que : échafaudages, engins de toutes sortes, cintres en charpente ou autres, gabarits, étalements de toute nature, difficultés d'exécution, d'approche ou d'accès de chantiers, épuisements de l'eau dans la hauteur de 0^m,20 et au-dessous, écoulements d'eaux, mesures préservatrices, plus-value de travail dans l'eau, quelle qu'en soit la hauteur, ou dans l'embarras des étai et étrésillons, en reprises par arrachements, par épaulées et par petites parties, en sous-œuvre dans l'embarras des étai ou avec cales en maçonnerie, tous déchets de matériaux, enlèvement des décombres, épures, gabarits, calibres, modèles, frais et faux-frais divers, etc. Par dérogation à l'article 59 du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et de maçonneries, il ne sera payé aucune plus-value pour frais d'éclairage.

ART. 18. — Mode de mesurage. — La longueur développée de chaque type de carreau pour l'application des prix unitaires sera mesurée suivant l'axe longitudinal. Les ouvrages accessoires seront comptés à part, et on leur appliquera les prix du bordereau de l'entreprise.

ART. 19. — Série complémentaire. — Dans le cas d'exécution de travaux autres que ceux désignés au bordereau, les prix adoptés seront ceux de la série des travaux d'assainissement de la ville de Paris, édition de 1898, diminués de 6 0/0 et, pour les travaux qui n'y sont pas mentionnés, ceux de la série de la Ville de Paris, édition 1882, diminués de 20 0/0.

Tous ces prix subiront le rabais d'adjudication.

ART. 20. — Propositions de paiement. — Dans les proportions de paiement à établir conformément aux conditions de l'article 14 du cahier des clauses et conditions générales, on n'acceptera comme matériaux approvisionnés que ceux déposés sur le chantier même des travaux et acceptés provisoirement comme bons par l'ingénieur en chef.

Cette acceptation provisoire ne préjugera en rien leur admission définitive et l'administration restera toujours libre de les faire remplacer par d'autres si elle leur découvre des défauts à l'emploi.

CHAPITRE IV

Dispositions diverses.

ART. 21. — Difficulté d'accès. — L'adjudicataire sera tenu, sans pouvoir réclamer aucune indemnité ni plus-value d'aucune sorte, de subir toutes les sujétions auxquelles les obligeront soit la difficulté d'accès des lieux, soit les dispositions qui lui seront ordonnées dans l'intérêt du bon ordre et du service des chantiers.

Il devra notamment se conformer strictement aux ordres relatifs aux parcours à suivre pour l'entrée et la sortie de ses ouvriers, l'entrée et l'approche de ses équipages, des matériaux, des terres destinées aux remblais, ainsi que pour la sortie et l'enlèvement de ses gravats.

ART. 22. — Bureaux. Water-Closets. — Comme complément à l'article 18 du cahier des clauses et conditions générales, l'adjudicataire installera une baraque avec fenêtre et fermant à clef, pour les agents de l'administration. Il installera aussi des cabinets d'aisances pour ses ouvriers.

Il sera autorisé à édifier des bureaux pour son personnel. Toutes ces constructions provisoires seront édifiées à ses frais, aux emplacements désignés par l'ingénieur en chef; il en aura l'entretien.

Le nettoyage, les précautions hygiéniques et la vidange de ces cabinets d'aisances sont également à la charge de l'entreprise. Cette obligation ne prendra fin que le jour où l'administration aura fait choix d'un entrepreneur général, chargé de l'installation et de l'entretien des water-closets.

L'adjudicataire devra établir et enlever, à ses frais, tous les échafaudages nécessaires à l'exécution de ses travaux, quel que soit le peu d'importance du travail à exécuter.

Ces échafaudages seront exécutés suivant les prescriptions de l'ingénieur en chef qui pourra demander les changements ou modifications qu'il jugera nécessaires, sans que l'adjudicataire soit admis à réclamer aucune sorte d'indemnité.

L'eau nécessaire à l'exécution des travaux faisant l'objet de la présente adjudication sera à la charge de l'adjudicataire, qui devra prendre à ses frais l'installation des conduites et récipients, les polices à contracter et toutes les précautions nécessaires pour que son travail ne soit jamais interrompu par suite du manque d'eau.

Il devra également établir, à ses frais, et sur l'ordre de l'ingénieur en chef, toutes les bannes, bâches, etc., utiles pour garantir ses travaux et pour permettre à ses ouvriers de travailler même en temps de pluie.

ART. 23. — Travail de nuit. — Par dérogation à l'article 58 du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et de maçonneries, la plus-value prévue (moitié) pour travaux de nuit par équipes spéciales n'ayant pas travaillé de jour et ne devant pas travailler le lendemain ne sera appliquée qu'à la main-d'œuvre seulement, à l'exclusion des matériaux et du matériel.

La plus-value à allouer aura pour base les prix de l'heure portés pour chaque nature d'ouvriers la série de prix de la Ville de Paris, année 1882 (prix de règlement : terrasse, articles 19 à 25, maçonnerie, articles 341 à 352 inclus), sans augmentation pour les appareilleurs, maitres-compagnons, chefs d'équipe, etc. Ces prix supporteront le rabais d'adjudication. Ladite plus-value de moitié sera appliquée à l'heure de travail des charretiers employés, mais non à celle des chevaux et du matériel fixe, volant ou roulant nécessaire.

Les représentants et commis de l'entrepreneur ne bénéficieront pas de la plus-value.

Chaque fois que le travail de nuit sera requis, l'adjudicataire devra, aussitôt que l'équipe de jour aura quitté le travail, remettre la liste des travailleurs de nuit au délégué de l'ingénieur en chef qui la contrôlera séance tenante et s'assurera de la désignation exacte de chaque homme.

Le même contrôle aura lieu à la fin de la nuit.

Sur la demande de l'adjudicataire, l'ingénieur en chef pourra autoriser, s'il le juge convenable, les équipes de jour à prolonger la durée de la journée réglementaire (durée indiquée par la série de la Ville de Paris); mais, dans ce cas, il ne sera alloué aucune plus-value.

ART. 24. — Modifications. — L'administration se réserve le droit de modifier, dans la pro-

portion qu'elle jugera convenable, avant ou pendant le cours des travaux, les dispositions, la nature, la qualité ou la quantité des terrassements et des maçonneries indiquées, sans qu'il y ait lieu à modification des prix de la série ni à aucune indemnité.

ART. 25. — *Voies ferrées.* — L'Administration est dans l'intention d'établir à l'intérieur du Champ-de-Mars un réseau de voies ferrées raccordé à la gare de Compagnie de l'Ouest.

Si cette voie est établie en temps convenable, l'adjudicataire pourra s'en servir pour le transport de ses matériaux, mais aucun engagement n'est pris à ce sujet par l'Administration pas plus que pour telles ou telles dispositions des voies plus commodes que d'autres à l'entrepreneur. Le frais de transports supplémentaires, auxquels pourra donner lieu l'utilisation de ces voies, seront supportés par l'entrepreneur.

ART. 26. — *Réceptions provisoires et définitives.* — Au fur et à mesure que certaines parties des constructions seront terminées, l'Administration aura le droit de les mettre en état de réception provisoire et d'en prendre livraison, mais le délai de réception définitive ne partira que de l'époque de l'achèvement complet des travaux.

Avant même que les remblais soient effectués, les carreaux pourront être reçus.

D'ailleurs, pour une partie quelconque des travaux, le remblayage ne sera fait qu'après une autorisation spéciale de l'Ingénieur en chef.

ART. 27. — *Responsabilité.* — L'entrepreneur sera responsable des travaux qu'il aura exécutés dans les conditions fixées par les articles 1792 à 1797 du Code civil.

ART. 28. — Avant de commencer sa maçonnerie, il devra s'assurer que le sol est en état de la supporter. En cas de doute, il devra aviser l'ingénieur en chef, qui prescrira toutes mesures convenables.

Faute d'avoir averti en temps utile l'Administration, il restera entièrement responsable de toutes les conséquences résultant du mauvais état du sol.

Pendant l'exécution des travaux, l'adjudicataire prendra, à ses frais, toutes les précautions nécessaires pour préserver de tous dommages ses propres travaux, ainsi que ceux qui existeraient ou seraient en cours d'exécution.

Il sera responsable des avaries qu'il causerait à ces constructions et ouvrages.

Il devra également installer à ses frais les garde-corps, les entourages et l'éclairage qui seront nécessaires pour éviter les accidents du personnel des chantiers, ainsi que des personnes étrangères.

ART. 29. — *Cahier des charges générales.* — Indépendamment des conditions énoncées ici, l'adjudicataire sera soumis, en tout ce à quoi il n'est pas dérogé par le présent devis et cahier des charges particulier, aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs par l'arrêté de M. le Ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, en date du 25 septembre 1896, ainsi qu'aux clauses et conditions du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et de maçonneries en date du 5 février 1897, adopté pour les travaux d'architecture de l'Exposition, et aux conditions de l'affiche d'adjudication.

Paris, le 4^e septembre 1898.

Bordereau des Prix

N° d'ordre	NATURE DES TRAVAUX ET DÉTAIL DES OUVRAGES	PRIX
		D'APPLI- CATION
1	Tronçon n° 1, composé de 2 carreaux parallèles, de 1 ^m ,175 d'ouverture et de 2 ^m de hauteur totale intérieure, compris tous les terrassements, les maçonneries et les accessoires indiqués aux devis et cahier des charges particulier, ou sur les dessins, tels que : prolongements des piédroits jusqu'au niveau supérieur de l'extrados de la voûte, assise et garnissages en béton, remplissages en sable dragué et pilonné, chape en mortier de ciment, raccordements divers et appareillages spéciaux, rejoignements, cintres, blindages et étalements de toutes sortes, etc., le mètre courant :	
	<i>Quatre cent quatre-vingt-quinze francs, ci.</i>	
2	Tronçon n° 2, composé de 4 carreaux parallèles, de 1 ^m ,175 d'ouverture et de 2 ^m de hauteur totale intérieure, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant :	495 »
	<i>Sept cent cinquante francs, ci.</i>	
3	Tronçon n° 2 bis, composé de 2 carreaux parallèles, de 2 ^m ,60 d'ouverture et de 2 ^m ,15 de hauteur moyenne, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant :	750 »
	<i>Huit cent quarante francs, ci.</i>	
4	Tronçon n° 3, composé de 2 carreaux parallèles, de 2 ^m ,60 d'ouverture et de 2 ^m ,90 de hauteur totale intérieure, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant :	840 »
	<i>Neuf cent quatre-vingts francs, ci.</i>	
5	Tronçon n° 4, composé de 2 carreaux parallèles, de 2 ^m ,60 d'ouverture et de 3 ^m ,80 de hauteur totale intérieure, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant :	980 »
	<i>Mille cent trente francs, ci.</i>	
6	Tronçon n° 5, composé de 2 carreaux parallèles, de 2 ^m ,60 d'ouverture et de 4 ^m ,70 de hauteur totale intérieure, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant :	1.130 »
	<i>Mille deux cent quatre-vingts francs, ci.</i>	
7	Tronçon n° 6, composé d'un carreau unique de 2 ^m ,60 d'ouverture et de 4 ^m ,70 de hauteur totale intérieure, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant :	1.280 »
	<i>Six cent quarante francs, ci.</i>	
8	Branchement type n° 1, avec une profondeur de fouille de 6 ^m ,32, compris tous les terrassements et étalements, les maçonneries et les accessoires indiqués aux devis et cahier des charges particulier, ou sur les dessins, tels que : conduits verticaux destinés à recevoir les gaz venant des générateurs, raccordements de ces conduits avec les canaux principaux, prolongements, courbes servant à guider les gaz à la partie inférieure desdits carreaux, plaques de fonte formant le dessus de ces prolongements courbes, tampons avec cadre en fonte servant à fermer la partie supérieure des conduits verticaux, assise et garnissage en béton, solives et cornières en fonte, etc., la pièce :	
	<i>Mille quatre cents francs, ci.</i>	
9	Branchement type n° 2, avec une profondeur de fouille de 5 ^m ,42, dans les mêmes conditions que ci-dessus, la pièce :	1.400 »
	<i>Mille deux cent soixante francs, ci.</i>	
10	Branchement type n° 3, avec une profondeur de fouille de 4 ^m ,52, dans les mêmes conditions que ci-dessus, la pièce :	1.260 »
	<i>Mille cent vingts francs, ci.</i>	
11	Fouilles supplémentaires au-dessous de celles prévues aux dessins dans les conditions du devis et cahier des charges, le mètre cube :	1.120 »
	<i>Cinq francs, ci.</i>	
12	Formes en sable de rivière, passé au tamis n° 7, et posé par couche de 0 ^m ,15 d'épaisseur, mouillées et fermement pilonnées, exécutées :	5 »
13	Avec sable retiré des fouilles, le mètre cube :	
	<i>Deux francs soixante cinq centimes, ci.</i>	2,65
14	Avec des matériaux fournis par l'entrepreneur, le mètre cube :	
	<i>Neuf francs soixante-cinq centimes, ci.</i>	9,65

Paris, le 4^e septembre 1898.

Détail estimatif

NOS N° ORDRE	NATURE DES TRAVAUX	PRIX	QUAN-	SOMMES
			TITÉS	
1	Tronçon n° 1, le mètre courant	495 »	18 »	8.910 »
2	Tronçon n° 2, le mètre courant	750 »	2 »	1.500 »
3	Tronçon n° 2 bis, le mètre courant	840 »	5 »	4.200 »
4	Tronçon n° 3, le mètre courant	980 »	29 »	28.420 »
5	Tronçon n° 4, le mètre courant	1.130 »	18 »	20.340 »
6	Tronçon n° 5, le mètre courant	1.280 »	19 »	24.320 »
7	Tronçon n° 6, le mètre courant	640 »	43 »	27.520 »
8	Branchement type n° 1, la pièce	1.400 »	2 »	2.800 »
9	Branchement type n° 2, la pièce	1.260 »	2 »	2.520 »
10	Branchement type n° 3, la pièce	1.120 »	2 »	2.240 »
	Total			122.770 »
11	Deux côtés pareils, soit, pour les deux ensemble			245.540 »
<i>Travaux éventuels</i>				
12	Fouilles supplémentaires, en dessous de celles prévues sur les plans, tout compris ainsi qu'il est défini dans le bordereau des prix. Formes en sable de rivière, lavé, passé au tamis n° 7, et posé par couches de 0"100 d'épaisseur, mouillées et fortement pilonnées : Avec sable retiré des fouilles. Avec matériaux fournis par l'entrepreneur	5 » 2,65 9,65	400 » 200 » 200 »	2.000 » 530 » 1.930 » 4.460 »
	Total			250.000 »
	Somme à valoir pour imprévus			25.000 »
	Montant total des travaux et imprévus			275.000 »

Sur le montant total de ce détail estimatif, MM. Nicou et Demarigny ayant le plus fort rabais (12,40 %) ont été chargés de l'exécution des travaux, qu'ils ont achevés dans les délais voulus.

2° Cheminées

Nous avons vu que les deux usines de production de vapeur formaient chacune un ensemble complet, au point de vue de l'installation des générateurs et de la construction des carreaux de fumée ; il fallait nécessairement qu'elles eussent leurs cheminées distinctes, et une seule cheminée par usine, afin de limiter le nombre de points exposés aux inconvénients d'un tel voisinage.

De plus, chaque cheminée devait avoir une hauteur assez considérable pour atténuer les effets du déversement des fumées sur les parcs, jardins et immeubles voisins.

En admettant une production de 100 000 kg. de vapeur à l'heure, pour chaque usine, et une vaporisation moyenne de 7^k,5 par kilogramme

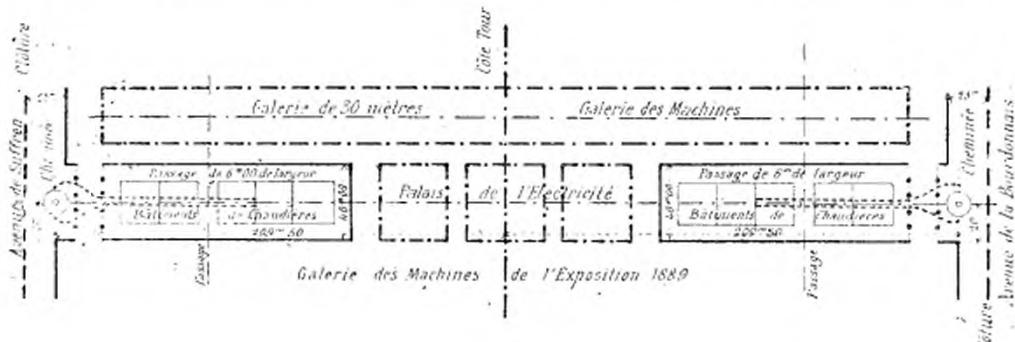


Fig. 46. — Plan d'ensemble pour l'emplacement des cheminées.

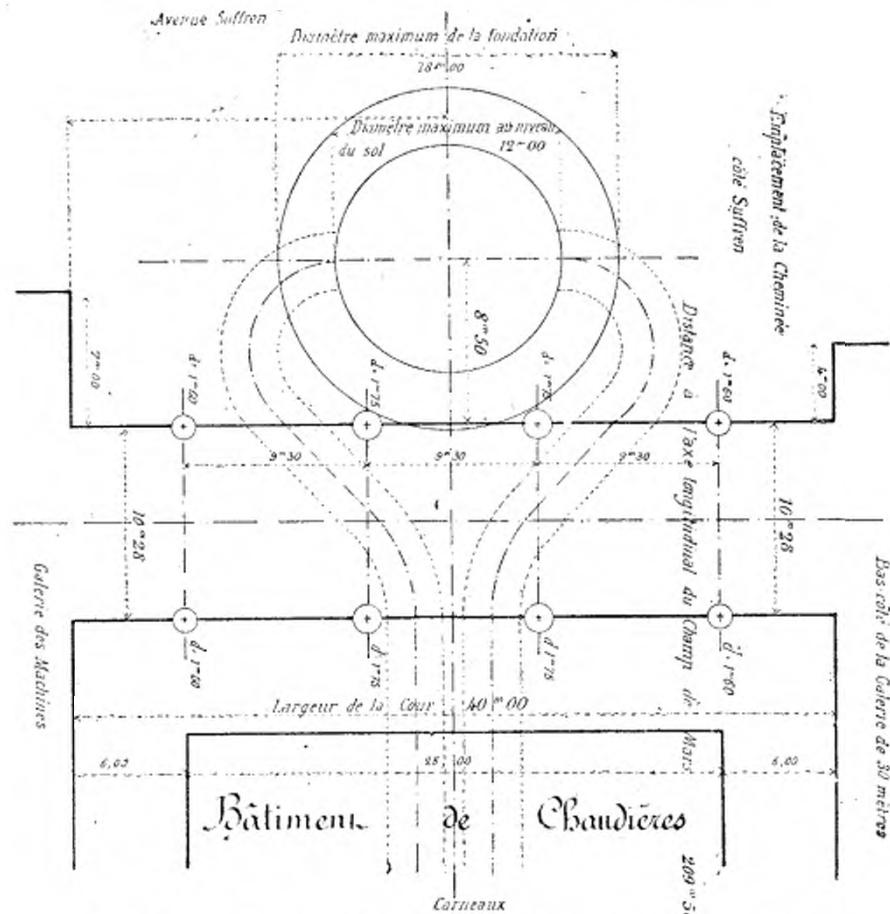


Fig. 47. — Disposition des carreaux à la base de la cheminée Suffren.

de combustible, on obtenait un chiffre de 13 300 kg. de charbon à brûler par usine et par heure. L'application des règles empiriques, généralement employées a conduit à l'adoption d'un diamètre intérieur au sommet de 4^m,50, pour répondre à la combustion précédente.

Enfin la hauteur totale de la cheminée fût arrêtée pour les raisons que nous avons exposées, entre 70 et 80 m.

Le service des installations mécaniques de l'Exposition partit de ces données pour établir, sous la direction de M. Ch. Bourdon, un projet complet avec détermination des dimensions principales des cheminées, calculs de vérification et systèmes de fondations à employer (voir à ce sujet *Le Génie civil*, 10 février 1900) afin de permettre l'élaboration d'un programme du concours ouvert par l'Administration à tous les constructeurs spécialistes français, en laissant à chaque concurrent la plus entière liberté d'imagination pour la partie décorative.

Nous reproduisons ci-dessous les conditions principales de ce concours :

PREMIÈRE PARTIE

ART. PREMIER. — *Objet du Concours.*

Il est ouvert un concours public, entre les entrepreneurs spécialistes français, pour la construction de deux cheminées en briques destinées à desservir les deux batteries de générateurs qui fourniront la vapeur aux installations mécaniques de l'Exposition universelle de 1900.

ART. 2. — *Dispositions générales.*

L'axe de la cheminée de l'usine Suffren sera placé, par rapport au Palais du Champ-de-Mars, dans la position déterminée par le plan joint au présent programme. L'axe de la cheminée de l'usine La Bourdonnais sera placé symétriquement au précédent, par rapport à l'axe du Champ-de-Mars.

Chaque cheminée aura 4^m,50 de diamètre intérieur au sommet ; la hauteur au-dessus du sol sera de 70 m. au minimum et de 80 m. au maximum.

L'intersection du fût de chaque cheminée avec le sol du Champ-de-Mars ne devra pas dépasser la circonference d'un cercle de 12 m. de diamètre.

Le massif en béton formant assise de la construction ne pourra pas dépasser la circonference d'un cercle de 18 m. de diamètre.

Chaque concurrent déterminera les éléments de la construction et particulièrement la hauteur des cheminées, de manière à maintenir les charges à supporter par les matériaux et par le sol dans les limites pratiques de grande sécurité, et à assurer également la stabilité de la construction même en cas d'ouragan.

Immédiatement au-dessus du sol, il sera réservé une ouverture de visite de forme circulaire et de 1 m. de diamètre. Cette ouverture sera fermée par un cloisonnement de briques, au centre duquel sera établi un regard en fonte, de maniement facile, dont les dimensions seront celles d'un trou d'homme ordinaire et dont l'étanchéité en service sera assurée par un lutage à la terre à four ou à la terre réfractaire.

Dans les fondations seront ménagées deux ouvertures en plein cintre diamétralement opposées et ayant intérieurement 2^m,60 de largeur et 4^m,70 de hauteur totale. Elles se prolongeront par deux amores de galeries de mêmes dimensions, servant de raccordement avec les carreaux de fumée.

Une cloison diamétrale sera établie à l'intérieur du socle, jusqu'à 1 mètre au-dessus du sol, perpendiculairement à la direction d'arrivée des deux carreaux, en vue de diviser les deux courants gazeux jusqu'à ce qu'ils aient pris une direction verticale.

L'Administration se réserve la faculté de faire établir à ses frais, à l'intérieur de chaque cheminée, un appareil de tirage artificiel de son choix, pour établir le courant ascendant des gaz, lors

de l'allumage des chaudières, la cheminée étant froide; les scellements nécessaires à cette installation seront exécutés par les soins du constructeur de la cheminée et le montant de ce travail lui sera payé aux prix de la série de la Société centrale des Architectes, édition 1897, diminué de 10 %.

ART. 3. — *Moyens d'ascension.*

Les concurrents devront prévoir des dispositions permettant l'ascension au sommet des cheminées pour les visites et les réparations éventuelles, tant des cheminées elles-mêmes que des paratonnerres, appareils d'illuminations, etc.

ART. 4. — *Paratonnerre.*

Le projet comprendra, pour chaque cheminée, l'installation complète d'un paratonnerre avec le puits de déperdition et les conducteurs. Cet appareil devra être établi suivant les règles de l'art actuellement en usage.

ART. 5. — *Partie décorative.*

La partie décorative devra faire l'objet d'une étude spéciale et sera représentée sur les dessins joints aux propositions des concurrents. Les frais y afférents seront compris dans le devis et par conséquent dans le forfait d'exécution.

Dans l'examen qui sera fait par le Jury, il sera tenu compte non-seulement de la valeur technique de chaque projet et du montant du forfait de l'entreprise, mais aussi de l'aspect décoratif de l'édifice.

ART. 6. — *Illumination.*

Les concurrents auront la faculté de présenter, avec leur projet d'ensemble, un projet spécial d'illumination des cheminées par le gaz ou l'électricité. Ce projet d'illumination fera l'objet d'un devis distinct du devis d'ensemble constituant le prix à forfait de la construction proprement dite.

L'Administration restera libre d'adopter le projet d'illumination présenté par un concurrent autre que celui ou ceux dont le projet de cheminée sera choisi.

Dans ce cas, une prime de 2 000 francs sera accordée à l'auteur du projet d'illumination qui sera adopté.

L'Administration se réserve en tout cas la faculté de prendre sur la cheminée, d'accord avec l'entrepreneur qui l'aura construite, les points d'appui qui pourraient être nécessaires pour l'installation des appareils d'éclairage.

Les additions et modifications qui résulteront de ces travaux, ne diminueront en quoi que ce soit la responsabilité de l'entrepreneur, mais donneront lieu à une rémunération spéciale, dont le montant sera calculé, d'après le travail fait, aux prix de la série de la Société centrale des Architectes, édition 1897, diminués de 10 %.

ART. 7. — *Délai.*

L'entrepreneur s'engage à terminer le travail au plus tard le 30 juin 1899.

ART. 8. — *Précautions.*

Des dispositions seront prises pour que, au cours de la construction de la cheminée, aucune action nuisible du fait de cette construction ne soit exercée sur les constructions voisines; en outre, dès que la construction sortira de terre, elle sera préservée des atteintes des charrois des chantiers voisins au moyen d'une forte palissade jointive, qui sera maintenue en place aussi long-temps que l'Administration le jugera utile.

ART. 9. — *Puits de sondage.*

Un puits de 8 m. de profondeur et de 2 m. de diamètre a été creusé, par les soins de l'Administration, dans l'emplacement du centre de chacune des deux cheminées.

Ces deux puits fourniront sur la nature du sol des renseignements qui permettront aux entrepreneurs, pour l'exécution de leurs fondations, de prendre les dispositions qu'ils jugeront utiles, de telle sorte qu'en aucun cas il ne puisse être réclamé de plus-value à l'Administration pour frais supplémentaires de fondations.

ART. 18. — *Conditions générales.*

Indépendamment des conditions énoncées au présent programme de concours, le ou les constructeurs

désignés pour l'exécution des travaux seront soumis, en tout ce à quoi il n'est pas dérogé par le présent programme particulier, aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs par l'arrêté de M. le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, en date du 25 septembre 1896, ainsi qu'aux clauses et conditions du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et de maçonneries, en date du 5 février 1897.

DEUXIÈME PARTIE

ART. 11. — *Conditions d'admission*

Les entrepreneurs qui voudront prendre part au présent concours devront faire connaître leur intention, avant le 15 octobre 1898, par une demande écrite adressée au Commissaire général, 2, avenue Rapp.

Il joindront à cette demande :

1^o Les pièces propres à justifier des ressources nécessaires pour remplir les engagements contractés.

2^o Un ou plusieurs certificats de capacité, n'ayant pas plus de deux années de date, délivrés par les hommes de l'art.

3^o Une liste des travaux de même nature que ceux en question, exécutés en France dans les dix dernières années.

Si la demande est formulée au nom d'une société d'ouvriers, cette société devra produire :

1^o La liste nominative de ses membres.

2^o L'acte de société.

3^o Un acte en bonne et due forme désignant le délégué fondé de pouvoirs.

ART. 12. — *Commission d'examen.*

Les demandes des concurrents et les pièces annexées seront examinées par une Commission composée ainsi qu'il suit :

Le Directeur général de l'Exploitation, vice-président du Comité des Directeurs, président.

Le directeur des finances de l'Exposition.

Le Secrétaire général de l'Exposition.

L'Ingénieur principal des Installations mécaniques.

Cette commission pourra entendre les concurrents et requérir d'eux tous les renseignements complémentaires qu'elle jugera utiles. La liste des entrepreneurs admis sera arrêtée par le Commissaire général de l'Exposition, sur la proposition du Directeur général de l'Exploitation, après avis de la Commission spéciale.

Chaque concurrent sera informé par lettre recommandée de la décision prise en ce qui le concerne. Cette lettre fixera la date à laquelle les projets et devis devront être remis et servira de certificats d'admission au concours. Les pièces remises par les concurrents non admis leur seront renvoyées.

ART. 13. — *Cautionnement.*

Chaque concurrent admis devra, avant la remise de son projet, verser à la Caisse des Dépôts et Consignations, un cautionnement provisoire de 5 000 francs.

Ce cautionnement sera réalisé dans les conditions fixées par le décret relatif aux adjudications et aux marchés passés au nom de l'Etat.

Le cautionnement provisoire servira de cautionnement définitif pour chacun des entrepreneurs chargés de l'exécution d'une cheminée.

Le récépissé constatant le versement de ce cautionnement sera joint aux pièces du concours.

Si le même constructeur était chargé de l'exécution des deux cheminées, le cautionnement devrait être doublé et le versement en être justifié, sous peine de déchéance, dans un délai de 8 jours après l'approbation de la soumission.

ART. 14. — *Soumissions.*

Les soumissions, avec plans et notices annexes, seront placées sous enveloppe cachetée.

Elles pourront être adressées par lettre recommandée au Commissaire général. Ces lettres recom-

mandées porteront extérieurement une mention indiquant la nature de leur contenu et devront parvenir au Commissaire général de l'Exposition, la veille de la séance publique avant 6 heures du soir.

Les soumissions pourront aussi être remises en séance publique au Président de la Commission instituée par l'art. 15 ci-après.

La date, l'heure et le lieu de cette séance publique auront été préalablement notifiés aux entrepreneurs admis à concourir, ainsi qu'il a été dit à l'art. 12.

A cette séance, le Président de la Commission ouvrira les enveloppes et donnera lecture, à haute voix, des soumissions présentées. Aussitôt après, la séance sera close.

ART. 15. — *Jury du Concours.*

Les projets réunis par les concurrents seront examinés et classés par un jury qui sera composé ainsi qu'il suit :

Le Directeur général de l'Exploitation, vice-président du Comité des Directeurs, président.

Le Directeur des services d'architecture de l'Exposition.

L'Ingénieur principal des installations mécaniques.

Le président du comité consultatif des machines.

Le président et deux membres du sous-comité des chaudières, désignés par ce sous-comité.

Les président, vice-président, rapporteur et Secrétaire du Comité d'admission de la classe 19 (machines à vapeur).

Le jury devra formuler son avis et remettre son rapport au Commissaire général dans le délai de quinze jours à dater du jour du dépôt des projets.

ART. 16. — *Marché définitif.*

A la suite du concours, il sera passé un marché entre l'Administration et le ou les auteurs des projets choisis, pour fixer les clauses et conditions, tant générales que particulières, de l'entreprise.

Ce marché sera rédigé en prenant pour bases les conditions d'établissement énoncées dans le mémoire technique, les prix indiqués dans le devis, et les clauses et conditions générales visées à l'art. 10 ci-dessus.

ART. 17. — *Restitution des projets non adoptés.*

Après la décision du Commissaire général relative à l'attribution des travaux mis au concours, un délai de huit jours sera accordé aux concurrents pour retirer les soumissions non agréées.

ART. — 18. — *Frais de timbre et d'enregistrement.*

Les frais de timbre et d'enregistrement du présent programme et du marché qui y sera annexé seront supportés par le ou les constructeurs chargés de l'exécution des travaux.

Paris, 24 août 1898.

A la suite de ce concours, 18 projets ont été présentés par dix constructeurs français et examinés par le jury sous la présidence de M. Delaunay-Belleville. Pour apprécier les résultats des concours, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire une partie des conclusions de M. Hirsch, président du Comité de la classe 19 et rapporteur du jury.

« Le concours a donné lieu à un travail considérable. Les projets présentés par les concurrents sont loin d'être dénués d'intérêt; mais si l'on se place au point de vue des solutions à recommander à l'Administration de l'Exposition, ces projets apparaissent avec des valeurs inégales... »

Un seul des projets peut être immédiatement accepté, c'est le projet n° 2 de MM. Nicou et Demarigny; c'est le seul qui mérite d'être exécuté

tel qu'il est présenté, sous réserve de quelques retouches que nous aurons soin d'indiquer.

Aux termes de l'article 16 du règlement du concours, un marché doit être passé entre l'Administration et l'auteur du projet choisi.

Nous sommes d'avis qu'il y a lieu de choisir le projet n° 2 présenté par MM. Nicou et Demarigny, et de passer marché avec les auteurs de ce projet, sur les bases indiquées dans leur soumission et sous réserve des modifications qui résulteront de l'étude des conditions techniques ressortant du programme du concours.

Nous allons examiner ces conditions.

Stabilité en élévation. — La première et la plus importante de toutes les conditions est celle de la stabilité. Nos observations relatives à cette question capitale s'appuieront principalement sur le projet présenté par MM. Nicou et Demarigny qui en ont fait une étude attentive.

Commençons par l'examen de la stabilité au-dessus de la fondation.

Les efforts auxquels la maçonnerie doit résister en un point quelconque de la cheminée résultent à la fois de la charge statique des constructions supérieures à ce point et des pressions du vent sur ces constructions. On en déduit le travail en ce point, exprimé en kilogrammes par centimètre carré.

MM. Nicou et Demarigny ont dressé de ces calculs des épures et tableaux très complets, dont l'exactitude a été vérifiée par les soins du service mécanique de l'Exposition (voir le tableau ci-après).

L'effort maximum a été trouvé de $10^k,4$ par centimètre carré à la pression, pour une cheminée de 80 mètres, sans que nulle part la matière ait à résister à la traction. Ce sont là de bonnes conditions pour une maçonnerie bien établie. Il importe néanmoins de remarquer que ce chiffre suppose que la pression due au vent ne dépasse pas 135 kg. par mètre carré de section diamétrale de la cheminée. Il ne semble pas impossible que cette pression puisse être dépassée dans les ouragans d'une violence exceptionnelle; pour les ponts en métal, les circulaires ministérielles prescrivent de prendre, comme base du calcul, le chiffre de 270 kg. par mètre carré de surface plane; ce qui, en admettant une réduction d'un tiers pour une surface cylindrique, conduirait au chiffre de 180 kg. Même avec cette pression exceptionnelle, les conditions de stabilité seraient encore satisfaisantes.

Dans le projet dont il s'agit, les épaisseurs de la paroi vers le gueulard sont peut-être un peu faibles.

N ^o des rou- leaux	HAUTEUR de chaque rouleau	HAUTEUR totale de la portion de chemi- née consi- dérée	RAYON exté- rieur à la base de la portion consi- dérée	ÉPAIS- SEUR de la maçon- nerie	PRESSE- N R	DISTANCE du vent à la base	DISTANCE du centre de gravité à la base	MOMENT de renverse- ment	POIDS de chaque rouleau ou assise	POIDS cumulés	DISTANCE à l'axe, de la courbe de stabilité	COEFFI- CIENT de stabilité	RAYON intérieur à la base	CHARGE de maçon- nerie par m ²	PRESSION sur l'arête extérieure	
	<i>h</i>	$\Sigma h = y$	R	e	F	<i>l</i>	μ	<i>n</i>	N	x	$\frac{R}{x}$	$\frac{N}{x}$	$\frac{r}{\Omega}$	S ₁	S'	
														Maximum	Minimum	
1	5,00	5,00	2,63	0,23	3,450 ^a	2,475	8,358 ^b	35,260	35,260	0,242	10,86	2,400	9,701 ^c	11,650 ^a	7,750 ^b	
2	5,00	10,00	2,78	0,35	7,100	4,905	34,830	55,640	90,900	0,383	7,25	2,430	15,867	20,820	10,910	
3	7,00	17,00	2,99	0,46	12,553	8,236	103,390	107,430	198,330	0,521	5,73	2,530	24,862	34,960	14,760	
4	7,00	24,00	3,20	0,58	18,403	11,493	211,507	143,110	341,440	0,619	5,17	2,620	32,196	47,110	17,280	
5	7,50	31,50	3,42	0,70	25,110	14,910	374,400	195,450	536,890	0,697	4,91	2,725	39,697	59,480	19,910	
6	7,50	39,00	3,65	0,81	32,275	18,260	589,310	239,140	776,030	0,759	4,80	2,840	46,988	71,330	22,640	
7	8,00	47,00	3,89	0,93	40,417	21,766	879,734	307,000	1,083,030	0,811	4,80	2,960	54,214	82,850	25,580	
8	8,00	55,00	4,13	1,04	49,080	25,212	1,237,376	364,890	1,447,920	0,853	4,83	3,090	61,463	94,040	28,890	
9	8,00	63,00	4,37	1,15	58,260	28,600	1,666,384	424,870	1,872,790	0,889	4,92	3,220	68,368	104,400	32,240	
10	14,00	77,00	5,20	1,82	76,875	35,475	2,716,975	1,288,520	3,161,310	0,851	6,11	3,100	57,768	85,670	29,890	
11	3,00	80,00	5,70	2,60	81,490	36,973	3,013,000	431,280	3,592,590	0,838	6,80	3,100	50,008	72,710	27,300	
12	1,20	81,20	6,45	3,35				241,220	3,833,810			3,100	38,164			
13	1,00	82,20	6,70	3,60				221,670	4,055,480			3,100	36,607			
14	1,00	83,20	6,95	3,85				243,110	4,298,590			3,100	35,378			
15	1,00	84,20						265,340	4,563,930			3,100	34,415			
16	0,65	84,85						288,350	4,852,280			3,100	33,668			
17	0,65	85,50						140,180	4,992,460			3,100	32,065			
18	0,50	86,00						160,370	5,152,830			2,850	31,296			
19	0,50	86,50						316,120	5,468,950				29,421			
20	1,50	88,00						633,740	6,102,690				28,899			

Une attention particulière devra être apportée à la mise en place des cercles en fer servant d'armature, que le constructeur projette d'incorporer dans la maçonnerie; on doit prendre garde aux effets des dilatations et aux dislocations qu'ils peuvent entraîner.

Stabilité dans les fondations. — Nous avons vu que dans les parties en élévation, la stabilité peut être obtenue avec sécurité et assez aisément. Il n'en est pas de même pour ce qui concerne les fondations; ici, le problème présente de sérieuses difficultés. Le sol sur lequel on doit s'établir n'est pas de bonne consistance et les concurrents n'ont pas tenu un compte suffisant de cette circonstance importante.

L'étude complète de ces questions délicates exigerait des calculs et des recherches de longue haleine, et les délais impartis au Jury pour terminer ses opérations sont beaucoup trop courts pour qu'il essaie d'entreprendre de pareils travaux, qui sont d'ailleurs en dehors du cercle de ses attributions. Il doit donc se contenter d'appeler l'attention sur les difficultés à surmonter et d'indiquer les directions dans lesquelles les solutions paraissent devoir être cherchées.

Sur ce point d'importance capitale, le projet de MM. Nicou et Demarigny est muet; les épures de résistance s'arrêtent au-dessus de l'assiette de la fondation.

Pour combler cette lacune, le service technique s'est livré à des calculs dont nous allons résumer les résultats.

Avec la cheminée de 80 mètres du projet de MM. Nicou et Demarigny, et en partant des données de ce projet, la pression maxima sur le terrain de la fondation serait :

Sous la charge statique	2 ⁸ ,09 par cm ²
Avec un vent de 270 kg. par mètre carré de de surface plane	4 ⁸ ,05 »

Le sol de fondation serait-il en état de supporter de pareilles pressions? Ce sol se compose d'une couche épaisse d'un excellent sable graveleux superposé à l'argile plastique; à la surface de séparation de ces deux formations s'étend, comme c'est naturel, une nappe aquifère.

Quelle résistance peut-on demander à un pareil sol?

Nous pouvons, par chance heureuse, répondre à cette question avec entière certitude; nous avons à notre disposition les fondations de la Galerie des Machines de 1889, établies dans les mêmes terrains, et des documents officiels sur ces fondations (*Monographie de l'Exposition de 1889*).

Or, depuis sa construction, il y a douze années, la Galerie des Machines n'a éprouvé, en aucun point, ni tassement, ni signe d'affaiblissement. Les données qui ont servi à établir les fondations sont donc confirmées par une expérience décisive, et l'on peut s'y fier avec sécurité.

Les fondations de la Galerie des Machines ont été établies suivant deux types principaux.

Partout où la couche de sable et gravier conserve une épaisseur d'au moins 2 m. au-dessus de la couche d'argile, la fondation est constituée par une table en béton de ciment, laquelle transmet au sol de fondations des pressions s'élevant à 3^k,28 par centimètre carré.

Quand la couche de sable a moins de 1^m,50 d'épaisseur, la construction repose sur des pieux de 0^m,33, dont la tête est noyée sur 1^m,73 de hauteur dans du béton de chaux et surmontée d'une couche de 1^m,23 de béton de ciment. Le mode de calcul appliqué à ce type de fondation est le suivant : on admet que chaque pieu fournit une réaction de 12 000 kg. et que le reste de la pression se répartit sur le sol jusqu'à un maximum de 1^k,32 par centimètre carré.

Quelque peu scientifique que puisse paraître cette formule de calcul, elle se trouve sanctionnée par une pratique décisive et, en la suivant, on ne court pas le risque de faire fausse route.

Or, appliqué tel quel au projet de MM. Nicou et Demarigny, ce calcul conduit à une charge, par grand vent, de 4^k,03, au lieu de 2^k,57 par centimètre carré. La stabilité cesse d'être certaine et il convient dès lors de remanier le projet, en prenant pour guides les procédés et modes de calcul qui ont été appliqués avec un succès si complet aux fondations de la Galerie des Machines.

Aspect et décoration. — Les questions relatives à l'aspect et à la décoration ont été fort bien comprises et représentées avec talent par le dessinateur du projet de MM. Nicou et Demarigny. Il y aura lieu d'apporter quelques retouches qui paraissent devoir améliorer encore ce projet qui est déjà fort satisfaisant.

Illumination. — Les projets d'illumination proposés sont nombreux, brillants comme dessins, mais fort obscurs comme description et singulièrement compliqués. Tous ces projets comportent des appareils d'éclairage suspendus en guirlandes, en quinconces, en couronnes. Ici se pose la question du service et de l'accès de ces nombreux appareils, question laissée en suspens ou résolue à l'aide d'artifices coûteux ou compliqués.

Il n'a pas paru à la Commission qu'aucun de ces projets put être recommandé.

Résumé et conclusions. — Comme conclusion, le Jury émit les avis suivants :

Classer en première ligne, parmi les projets présentés au concours, le projet n° 2 de MM. Nicou et Demarigny; écarter les autres projets.

Passer marché avec MM. Nicou et Demarigny pour l'exécution de leur projet n° 2, soit pour une, soit pour les deux cheminées de l'Exposition, et ce, sur les bases de leur soumission et de leur mémoire technique, sous réserve des modifications indiquées dans le rapport de M. Hirsch.

Fixer autant que possible à 80 mètres la hauteur des cheminées et n'admettre une hauteur moindre que dans le cas de nécessité reconnue.

Comprendre dans l'entreprise la construction de l'échelle en fer intérieure.

Distraire de l'entreprise les moyens d'ascension prévus à l'art. 3 du programme et l'illumination prévue à l'art. 6.

Ne délivrer à aucun des concurrents la prime de 2 000 francs prévue par ledit article 6.

A la suite de l'avis exprimé par le Jury, le projet de MM. Nicou et Demarigny fut remanié par le Service mécanique de l'Exposition dans l'ordre d'idées indiqué.

Avant d'exposer les modifications qui furent apportées par M. Ch. Bourdon, ingénieur en chef du service, pour obtenir la stabilité nécessaire des fondations, nous complèterons les indications données dans le rapport de M. Hirsch sur les fondations de la Galerie des Machines de 1889.

Les points d'appui des fermes de cette galerie comportent chacun 27 pieux en sapin de 33 cm. de diamètre et de 9 m. de longueur environ, disposés en trois rangées et espacés comme l'indique la fig. 18. Les pieux sont noyés dans un massif de béton de 6^m,50 de largeur, 11^m,20

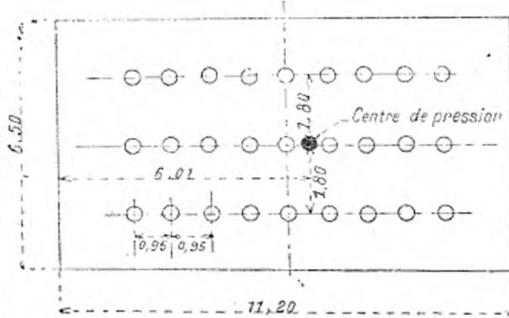


Fig. 18.

de longueur et 3 m. de hauteur; à la charge de 12 tonnes par pieu, correspondant à $16^k,7$ par centimètre carré, il y a lieu d'ajouter la charge supplémentaire provenant du remblai sur les fondations, et qui s'élève à $5^k,1$ par centimètre carré, de sorte que la charge totale par centimètre carré portée par les pieux atteint $21^{kg},8$. On trouve de même, en tenant compte de la surcharge des remblais, que la pression totale supportée par le sol des fondations s'élève à $1^k,84$ par centimètre carré.

M. Bourdon estima tout d'abord qu'il convenait de donner au massif de béton formant l'assise de la cheminée un diamètre de 18 m, au lieu de $16^{m,40}$, chiffre adopté par MM. Nicou et Demarigny. Le nombre de pieux fut augmenté en conséquence et porté de 93 et 133.

Pour vérifier la stabilité des fondations, on a procédé par comparaison avec les fondations connues de la Galerie des Machines en supposant que le terrain est le même dans les deux cas, c'est-à-dire que son coefficient d'élasticité ne varie pas. Mais, en raison de la présence des pieux, la section horizontale au-dessous des fondations est hétérogène : elle se compose de terre et de bois. Si le coefficient d'élasticité du bois est connu, il n'en est pas de même pour celui de la terre et il a fallu rechercher la valeur qui lui fut attribuée par M. Contamin, dans le calcul des charges des piliers de la Galerie des Machines.

La méthode employée a été exposée en détail dans une étude qui a paru au numéro du *Génie civil* du 10 février 1900.

Nous nous contenterons ici de donner les conclusions de ces calculs dont l'exposé nous entraînerait un peu loin.

1^o Le rapport des sécurités avec lesquelles sont établies les deux constructions, Galerie des Machines et cheminées, sera compris :

Entre 1,03 et 0,69 pour la terre.

Entre 1,27 et 0,81 pour les pieux.

2^o La charge par centimètre carré de la terre ne dépassera pas $3^k,63$; celle des pieux ne dépassera pas $96^k,5$ par centimètre carré.

3^o Si l'on admet que le coefficient d'élasticité E' de la terre est voisin de la valeur que lui a supposée M. Contamin, par exemple si E' est compris entre 50×10^3 et 100×10^3 ;

a. Le rapport des sécurités sera voisin de 8/10 pour la terre et de 1 pour les pieux.

b. La charge de la terre pour les cheminées sera comprise entre $1^k,94$ et $2^k,6$ alors que pour la Galerie des Machines, elle est comprise entre $1^k,61$ et 2 kg.

c. La charge des pieux par centimètre carré sera comprise entre 44^k,8 et 31^k,5.

Toutes ces études achevées, l'Administration estima, conformément aux indications données par le Jury du Concours, que des motifs puissants paraissaient militer en faveur de la construction des deux cheminées par deux entrepreneurs différents, MM. Nicou et Demarigny ayant l'entreprise de la première cheminée et l'Administration se réservant de traiter au mieux de ses intérêts avec un entrepreneur quelconque, pour la seconde, d'après un cahier des charges établi sur l'étude complète effectuée par le service des installations mécaniques.

Le marché de gré à gré suivant fut passé avec MM. Nicou et Demarigny pour la construction de la cheminée La Bourdonnais et une spécification de travaux, que nous donnons plus loin lui fût annexée.

Marché de gré à gré pour la construction de la cheminée La Bourdonnais.

Nous, soussignés, Nicou et Demarigny, faisant élection de domicile aux effets des présentes, 62, boulevard de la Gare à Paris, nous engageons envers M. le Commissaire Général de l'Exposition de 1900, à construire pour le service de la batterie de chaudières qui sera établie dans le Champ-de-Mars (côté de l'avenue La Bourdonnais) une cheminée monumentale de 4^m,50 de diamètre au sommet et de 80 m. de hauteur.

ARTICLE PREMIER. — *Conditions générales d'exécution.*

La cheminée aura son centre dans l'axe de la cour des générateurs et à 211^m,14 de l'axe longitudinal du Champ-de-Mars. Ses dispositions générales, son ornementation, et les conditions d'exécution de ses différentes parties se trouvent définies par les plans et la spécification annexés au présent marché.

Ladite cheminée, considérée comme objet exposé, sera soumise à l'examen du Jury des récompenses, et nous pourrons placer sur son sousbasement une plaque indiquant qu'elle a été classée en première ligne par le Jury du Concours auquel a donné lieu sa construction. Ce même droit ne sera pas accordé au constructeur qui serait chargé de l'exécution de la cheminée de l'usine Suffren.

Art. 2. — *Objet de l'entreprise. Nature des travaux.*

L'entreprise comprend tous les travaux relatifs à la construction de la cheminée, et notamment:

- 1^o Toutes opérations de piquetage et de nivellement.
- 2^o Toutes fouilles, tous chargement et transport de terre à la décharge publique, mise en cavalier, reprise des terres, remblayage, régâlage, etc.
- 3^o Toutes fournitures, poses et déposes d'échafaudages ou blindages.
- 4^o Tous épuisements d'eau.
- 5^o Toutes démolitions d'anciennes maçonneries rencontrées dans les fouilles.
- 6^o Toute palissade ou échafaudage destiné à garantir la construction de la cheminée de l'exécution des travaux voisins ou, au contraire à préserver ces travaux, comme il est prescrit à l'article 8 du programme du concours et à l'article 6 du cahier des charges spéciales des travaux de terrassements et de maçonneries.
- 7^o Tous battages de pieux qu'exigera la fondation.

8° Toutes maçonneries de quelque nature qu'elles soient.

9° Le raccordement avec les carreaux de fumée.

10° La fourniture, la pose ou l'exécution de toute la partie décorative indiquée sur les plans, ou décrite dans la spécification.

11° Toute fourniture, pose et scellement des cercles d'armature en fer de l'échelle intérieure, des crampes en fer destinées à recevoir un moyen d'ascension extérieure, des pistons de suspension fixés aux arceaux du couronnement, des armatures en fer maintenant la balustrade céramique qui entourera le sommet.

12° La fourniture et la pose du paratonnerre complet, avec tubage pour la descente des conducteurs au-dessous du sol et le perd-fluide.

13° La fourniture et la pose du regard métallique fermant l'ouverture de la porte de visite.

ART. 3. — *Prix à forfait.*

L'ensemble des travaux ci-dessus sera exécuté et la cheminée sera livrée complètement finie, moyennant la somme à forfait de 203000 francs.

ART. 4. — *Invariabilité des prix.*

Le prix ci-dessus s'applique à des travaux absolument complets et parfaits, exécutés suivant les règles de l'art.

Il est expressément entendu qu'il ne pourra subir aucun changement, même pour cause d'erreur ou d'omission et qu'aucune plus-value d'aucune sorte ne pourra être admise pour quelque cause que ce soit.

ART. 5. — *Travaux accessoires.*

Dans le cas d'exécution de travaux autres que ceux désignés dans les présents marchés et dans la spécification annexée, ou en cas d'augmentation de ces travaux, il sera établi des mémoires spéciaux et on appliquera aux différents articles qu'ils comprendront les prix de base du devis estimatif annexé au présent marché, et pour les articles qui ne seraient pas mentionnés dans le devis ceux de la série d'assainissement de la ville de Paris, édition 1898, diminués de 12 %.

En cas d'insuffisance de cette série, on adoptera la série de la Société Centrale des Architectes, édition 1897, avec diminution de 10 %. Les anciennes maçonneries qui seraient rencontrées dans les fouilles seront démolies par nos soins, mais cette démolition ne sera payée à part qu'autant que chacune des parties à démolir aura un cube supérieur à un 1/2 mètre. Au-dessous de ce volume lesdites démolitions, seront considérées comme fouilles ordinaires.

Les frais supplémentaires de démolition, quelle que soit la nature des maçonneries auxquelles ils se rapportent, compris le montage des matériaux et le transport à la décharge publique, sont fixés à 2 fr., 25 le mètre cube.

Les matériaux provenant de ces démolitions resteront notre propriété, mais ils ne pourront être réemployés dans la construction de la cheminée.

ART. 6. — *Délai d'exécution.*

Le commencement des travaux est fixé par la date de la signature des présentes par M. le Commissaire général, et il nous est accordé un délai de 10 mois pour l'achèvement complet de la cheminée.

Le sable extrait de la fouille sera, si l'administration le juge à propos, mis en dépôt dans un emplacement situé dans un rayon de 200 m. autour de la cheminée.

L'exécution du travail devra suivre une marche régulière et, pour l'achèvement des différentes parties de l'édifice, nous nous engageons à nous conformer aux délais suivants:

La fouille, le battage des pieux et la maçonnerie jusqu'au niveau du sol, seront terminés quatre mois après le commencement des travaux, fixé comme il est dit ci-dessus.

Le soubassement, jusqu'à 18 m. au-dessus du sol, sera terminé six mois après le commencement des travaux, fixé comme il est dit ci-dessus.

Le soubassement, jusqu'à 60 m. de hauteur au-dessus du sol, sera terminé huit mois après le commencement des travaux.

Le couronnement, la décoration, le paratonnerre et les accessoires seront terminés 10 mois après le commencement des travaux.

Pour éviter tout arrêt pouvant résulter d'un manque de matériaux, nous aurons toujours sur

le chantier un approvisionnement de 350 000 briques comportant les divers assortiments entrant dans la construction.

ART. 7. — *Pénalités en cas de retard.*

Faute d'avoir terminé les travaux de chacune des parties désignées ci-dessus dans le délai indiqué, chaque jour de retard non justifié donnera lieu à une retenue de cent francs. Les retenues ainsi opérées seront acquises à l'Administration par le seul fait des retards, sans qu'il soit besoin de mise en demeure ou autre formalité préalable.

Dans le cas où un retard de plus de quinze jours, non motivé par une cause indépendante de nous, surviendrait dans l'achèvement de l'une des quatre parties ci-dessus indiquées, l'application de la retenue se continuera et, en outre, l'Administration prendra les mesures qu'elle jugera convenables, par application de l'article 35 des clauses et conditions générales.

Dans le cas où l'exécution des travaux se trouverait entravée par un cas de force majeure, nous serions admis à présenter dans les 24 heures une réclamation au Directeur Général de l'Exploitation et les délais seraient prolongés s'il y avait lieu, mais il ne nous serait dû aucune indemnité.

Toute réclamation tardive sera considérée comme nulle et non avenue.

ART. 8. — *Cautionnement.*

Comme garantie de la bonne exécution des travaux et conformément à l'article 13 du programme du concours, la somme de 5 000 francs versée par nous à titre de cautionnement provisoire pour prendre part au concours, restera entre les mains de l'Administration et constituera le cautionnement définitif de notre entreprise. Celui-ci sera remboursé à l'expiration du délai de garantie prévu par les articles 46 et 47 du cahier des clauses et conditions générales.

ART. 9. — *Propositions de paiement.*

Des paiements d'à compte s'effectueront comme il est prévu à l'article 44 du cahier des clauses et conditions générales. Dans le cas où une partie de ces acomptes s'appliquerait à des matériaux approvisionnés, on ne considèrera comme tels que ceux qui seraient déposés sur le chantier même des travaux, et acceptés comme bons par l'Ingénieur principal des installations mécaniques. Cette acceptation provisoire ne préjugera en rien leur admission définitive et l'Administration restera libre de les faire remplacer par d'autres, si elle leur découvre des défauts à l'emploi.

ART. 10. — *Difficulté d'accès.*

Il est entendu que nous serons tenus, sans réclamer aucune indemnité ni plus-value d'aucune sorte, de subir toutes les sujétions auxquelles nous obligeront, soit la difficulté d'accès des lieux soit les dispositions qui nous seront ordonnées dans l'intérêt du bon ordre et du service des chantiers.

Nous établirons et enlèverons à nos frais tous les échafaudages nécessaires à l'exécution de nos travaux. L'eau qui nous sera nécessaire restera à notre charge, et nous installerons à nos frais toutes conduites, récipients ou compteurs dont nous aurons besoin. Nous contracterons, s'il y a lieu, les polices d'abonnement, établirons les bannes et bâches destinées à garantir nos travaux, ainsi que les hangars, bureaux et water-closets qu'exigerait le service de nos chantiers.

ART. 11. — *Voies ferrées.*

Dans le cas où le réseau de voies ferrées établi à l'intérieur du Champ-de-Mars pourrait être utilisé pour le transport de nos matériaux, les frais qui résulteraient de l'emploi de ces voies ferrées ne donneraient lieu à aucune plus-value.

ART. 12. — *Ouvriers étrangers.*

Nous nous engageons à ne pas employer sur nos chantiers plus de 1/10 d'ouvriers étrangers.

ART. 13. — *Démolition.*

Dans le cas où après l'Exposition, et dans un délai de six mois après la fermeture, l'Administration déciderait la démolition de la cheminée, que nous aurions construite, nous nous engageons si l'Administration le requiert, à effectuer ce travail et à restituer l'emplacement nivelé et débarrassé de tous décombres, sans autre rétribution que la valeur des matériaux, qui resteraient notre propriété. Il est toutefois entendu que la fondation ne sera arrasée qu'à 1 m. en dessous de la côte 35,60.

ART. 14. — *Responsabilités.*

Nous serons responsables de nos travaux dans les conditions fixées par les articles 1792 à 1797 du Code civil.

Pendant l'exécution des travaux, nous prendrons à nos frais toutes les précautions nécessaires pour préserver de tous dommages nos propres travaux, ainsi que ceux qui existeraient ou seraient en cours d'exécution à proximité de notre chantier. Nous serons responsables des avaries que nous causerons à ces constructions et ouvrages. Nous garantirons à nos frais par des garde-corps ou des entourages, et, s'il y a lieu, par un éclairage spécial, les parties du chantier présentant des dangers pour notre personnel ainsi que pour les personnes étrangères.

ART. 15. — *Construction d'une deuxième cheminée.*

Dans le cas où l'Administration déciderait de nous confier la construction de la cheminée desservant la batterie de chaudières à établir dans le Champ-de-Mars, côté de l'avenue de Suffren, nous nous engageons dès à présent, et sans qu'il soit besoin d'autre convention, à exécuter ces travaux aux conditions du présent marché; la valeur de cette seconde cheminée sera déterminée, s'il y a lieu, en prenant pour prix de base, tant pour le gros œuvre que pour la partie décorative en briques et les accessoires, le détail estimatif annexé à la spécification des travaux du présent marché.

La décoration céramique ou autre matière fera l'objet d'un devis spécial, dont le montant sera arrêté, d'un commun accord, après l'adoption des plans d'exécution.

Nous verserions un deuxième cautionnement de 5 000 francs.

La décision par laquelle l'Administration nous chargera de la construction de la cheminée de l'avenue de Suffren devra nous être notifiée avant le 1^{er} mai 1899, sinon l'engagement dont il est question dans le présent article sera nul et non avenu.

ART. 16. — *Cahier des charges générales.*

Indépendamment des conditions énoncées ci-dessus, nous serons soumis, en tout ce à quoi il n'est pas dérogé par le présent marché, aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs par l'arrêté de M. le Ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, en date du 25 septembre 1896, ainsi qu'aux clauses et conditions du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et de maçonneries, en date du 5 janvier 1897, adopté pour les travaux d'architecture de l'Exposition et aux conditions du programme du concours.

Paris, 8 mars 1899.

Spécification des travaux et détail estimatif.

ARTICLE PREMIER. — *Terrassements.*

L'entrepreneur aura à exécuter toutes les opérations nécessaires au dégagement des espaces dans lesquels se trouvera la cheminée. La fouille sera de forme circulaire; elle aura, au fond, un diamètre de 18 m.; la profondeur sera de 8 m. au maximum, selon les plans annexés au présent marché. L'entrepreneur aura la faculté de faire la fouille sans blindage; dans ce cas il sera pris un talus suffisant pour éviter les éboulements. Après exécution des maçonneries de la base de la cheminée, les parties restées vides seront remblayées. Pour ce remblayage, les terres seront régaliées par couches de 0^m,20 d'épaisseur, arrosées et pilonnées. Les terres en excédent seront enlevées de la fouille. Dans le cas où cet évasement de la fouille rendrait nécessaire la démolition de maçonneries actuellement exécutées, l'entrepreneur les rétablirait à ses frais.

ART. 2. — *Pilotis ou pieux.*

Les pilotis ou pieux seront au nombre de 133; ils seront disposés conformément aux plans annexés. Ces pieux seront en chêne, de 0^m,30 d'équarrissage environ; ils auront une longueur de 8 m. environ, ils seront munis à leur pointe d'un sabot en fer. Ils seront frettés, mis en fiche et battus au refus au moyen d'un mouton de 500 kilogrammes, c'est-à-dire qu'un mouton tombant de 1^m,30 à 1^m,40 ne devra pas produire un enfoncement de plus de 5 à 6 mm. pour une volée de vingt-cinq coups; ils seront ensuite récepés à 0^m,85 au-dessus du fond de la fouille.

ART. 3. — *Maçonneries.*

La cheminée reposera sur une plate-forme de béton, qu'enveloppera la tête des pieux sur une hauteur de 0^m,85, comme cela est indiqué aux plans annexés.

Ce béton sera composé, pour 1 m³ de cailloux lavés, de 0^{m³},500 de mortier au dosage de 300 kg. de ciment de Portland par mètre cube de sable dragué.

Il sera pilonné avec soin par couches de 0^m,20 d'épaisseur.

Le soubassement de la cheminée sera construit sur cette plate-forme, conformément aux formes et dimensions fixées aux dessins.

Dans les murs de ce soubassement, seront ménagées deux ouvertures en plein cintre, diamétralement opposées, et ayant intérieurement 2^m,60 de largeur et 4^m,70 de hauteur totale. Ces pénétrations se prolongeront par deux amores de galeries de mêmes dimensions servant au raccordement avec les carreaux de fumée. Au raccordement de ces pénétrations avec les carreaux, il sera fait un joint en maçonnerie de briques.

Le soubassement, à l'exception de l'enveloppe intérieure et des murs, radiers et voûtes des pénétrations des conduits de fumée, sera, conformément aux plans, en maçonnerie de meulière. Cette maçonnerie sera faite avec soin et hourdée en mortier au dosage de 350 kg. de ciment Portland par mètre cube de sable dragué.

L'enveloppe intérieure du soubassement, les murs, radiers et voûtes des pénétrations des conduits de fumée et toute la cheminée au-dessus du niveau du sol, seront en bonnes briques très résistantes. Les briques seront bien cuites, sonores, de même échantillon et de dimensions uniformes. Les joints seront bien pleins et régulièrement croisés pour obtenir un bon liaisonnement. Les parois intérieures seront parfaitement lisses, les joints des parements extérieurs seront faits d'une façon soignée, rebouchés et lissés au fer, tirés au crochet en creux, ou saillants, selon les parties de la construction.

Pour le piédestal, le socle et les parties de maçonnerie de briques du soubassement, il sera fait emploi de mortier bâtarde au dosage de 200 kg. de ciment Portland et 150 kg. de chaux hydraulique de Beffes ou équivalente, c'est-à-dire des marques admises par la Ville de Paris, par mètre cube de sable tamisé. Ce dosage de 200 kg. de ciment Portland et 150 kg. chaux hydraulique de Beffes sera fait à sec et intimement mélangé avec le sable, avant d'être gâché. La colonne ou fût sera hourdée en mortier n° 3 de la Ville de l'Arts, composé de 1/3 de chaux hydraulique de Beffes ou équivalente et de 2/3 de sable tamisé. Le couronnement sera hourdé en mortier de ciment Portland et sable tamisé au dosage de 350 kg.

Immédiatement au-dessus du niveau du sol, il sera réservé une ouverture de visite de forme circulaire, de 1 m. de diamètre; cette ouverture sera fermée par une cloison en briques, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur; au centre de cette ouverture, à l'extérieur, sera établi un regard métallique conforme au tracé, et qui sera luté en terre à four, afin d'en assurer l'étanchéité en service.

Une cloison diamétrale en briques sera établie à l'intérieur du soubassement, jusqu'à 1 m. de hauteur au-dessus du sol, dans une direction oblique par rapport à l'arrivée des carreaux, afin de diviser les deux courants gazeux jusqu'à ce qu'ils aient pris une direction verticale.

ART. 4. — *Enduits.*

Des enduits en ciment Portland seront faits sur le dessus des corniches du piédestal et du couronnement afin de mettre ces parties à l'abri des infiltrations d'eau.

ART. 5. — *Cercles en fer.*

Pour maintenir l'écartement des murs contre la poussée déterminée par la température des gaz chauds, quinze cercles seront noyés dans l'épaisseur des maçonneries de la colonne et du couronnement, selon les indications des plans.

Ces cercles seront en plusieurs morceaux chacun, selon l'usage; ils seront en fer plat de 120 × 11 mm. cintrés à la demande, percés de trous et munis de boulons pour l'assemblage.

ART. 6. — *Échelons en fer.*

Pour permettre l'ascension à l'intérieur de la cheminée, des échelons en fer rond, forgés, à pattes coudées, contre-coudées et aplatis, seront scellés suivant les indications des plans, au nombre de trois environ par mètre de hauteur; de grands échelons enveloppant les premiers formeront un dispositif de sûreté pour éviter les chutes et faciliter les repos, en cours de montée, aux ouvriers.

Ces fers seront de très bonne qualité.

ART. 7. — *Crampons en fer.*

Des crampons en fer forgé seront scellés dans le parement extérieur de la cheminée, au nombre de soixante-dix ; ils seront conformes aux indications du plan et serviront éventuellement de points d'appui pour un échafaudage extérieur.

Ils seront en fer de toute première qualité, seront placés avec beaucoup de soin, très exactement les uns au-dessus des autres et scellés au ciment. L'œil réservé dans leur partie renflée sera carré, et parfaitement calibré.

Ils seront peints suivant la nuance de la partie de la cheminée où ils seront scellés. Ils commenceront au-dessus du piédestal, et les derniers seront dans le couronnement du haut. Dans chaque arceau du couronnement, il sera scellé un fort piton auquel pourra être suspendu, s'il est nécessaire, un échafaudage volant.

PARTIE DÉCORATIVE

ART. 8. — *Décoration en briques.*

L'aspect monumental et décoratif de l'édifice résultera à la fois des formes et profils des différentes parties de la construction, et des couleurs diverses des briques employées en parement. La nuance de fond dominante sera le blanc nankin ; les dessins et appositions de teintes seront exécutés en briques de couleur sanguine, avec emploi de quelques briques noires et de briques émaillées de nuances diverses, selon les indications des plans.

Les briques émaillées fines proviendront des établissements Muller et C^{ie}, Gilardoni fils, Brault et C^{ie}, Janin et Guérineau, Fouinat, ou autres marques reconnues équivalentes par l'Administration.

ART. 9. — *Décoration en céramique nouvelle.*

Les feuilles d'aux et les fleurons du dessus du couronnement ; les cabochons carrés du haut des consoles du couronnement, l'astragale et ses grandes fleurs, les quatre grands motifs avec deux ceintures de cabochons et grandes palmes, les feuilles d'acanthe et les fleurs de la partie inférieure de la colonne et les cabochons du piédestal seront en « céramique nouvelle », système G. Siéver. Sur les cartouches des quatre grands motifs, seront représentés par des figures allégoriques : l'Industrie, le Commerce, les Sciences et les Arts.

PARATONNERRE

ART. 10.

Le paratonnerre comprendra :

1^o — Une tige unique de 12^m,50 de longueur totale en fer forgé galvanisé, ayant 80 mm. de diamètre à la base et 35 mm. au sommet, terminée par une pointe en cuivre rouge de 0^m,500 de longueur, avec cône en platine.

2^o — Un conducteur en cuivre rouge étamé, formant ceinture et couronnement, sur lequel seront fixés deux conducteurs diamétralement opposés, en cuivre rouge de 30 × 2 mm, descendant le long du fût de la cheminée jusqu'à la base, où l'un des conducteurs sera fixé, comme prise de terre, à un tubage en tôle de 150 mm. de diamètre et de 5 m. de profondeur, et le second conducteur gagnera en tranchée la plus proche canalisation souterraine.

Paris, 15 février 1899.

La cheminée de l'usine La Bourdonnais a donc été construite par MM. Nicou et Demarigny dans les conditions que nous venons d'énoncer. Nous donnons *Pl. 3*, différents dessins de cette cheminée, dont le projet a obtenu les félicitations du Jury du concours en des termes particulièrement flatteurs pour la maison Nicou et Demarigny.

Le poids total de l'ouvrage est de 5 733 tonnes.

Détail estimatif

N° ORDRE	NATURE DES TRAVAUX ET DÉTAIL DES OUVRAGES	QUAN- TITÉS	PRIX DE BASE	SOMMRS
			fr.	fr.
1	Fouille en déblai de 18 m. de diamètre au fond et 8 m. de profondeur :			
1°	Avec enlèvement des terres aux décharges	4.450m ³	7'70	11.165' *
2°	Les terres laissées sur berges reprises pour remblai par couches arrosées et pilonnées	750m ³	4' *	3.000' *
2	Faculté pour l'entrepreneur de faire la fouille sans talus avec étalements, ou avec talus et sans étalements ; la valeur des étais compensant celle du supplément de fouille et de remblai	*	Évaluati- on	2.500' *
3	Pilotis ou pieux en chêne de 0 ^m ,30 d'équarrissage environ, compris bardage, mise en fiche, battage, récépage, fourniture et pose de sabots, location de frettes, de sonnette, de matériel, etc.	1.080m	20' *	21.600' *
4	Béton de cailloux composé de 0 ^m 3,500 de mortier au dosage de 300 kilos de ciment Portland par m ³ de sable dragué, pour 1 ^m ³ de cailloux lavés.	385m ³	20' *	7.700' *
5	Maçonnerie de briques hourdées en mortier bâtarde au dosage de 200 kilos de ciment Portland et 150 kilos de chaux hydraulique de Belfes ou équivalente, par mètre cube de sable tamisé	1.180m ³	48' *	56.640' *
6	Maçonnerie de meulière hourdée en mortier au dosage de 350 kilos de ciment Portland par m ³ de sable dragué.	650m ³	30' *	19.500' *
7	Maçonnerie de briques hourdées en mortier n° 3 de chaux hydraulique de Belfes ou équivalente, et sable tamisé.	1.040m ²	46' *	47.840' *
8	Enduit en ciment sur le dessus des corniches	100m ²	5' *	500' *
9	Briques émaillées fines provenance Muller et Cie, Gilardoni fils et Cie, Janin et Guérinéau, Fouinat, etc.	3.000 150.000	0.30 19' /oo	900' * 2.850' *
	Plus-value pour emploi de briques blanches			
10	Cercles et échelons en fer forgé.	4.500*	50' *	2.250' *
11	Crampons en fer forgé au nombre de 70, pesant chacun 15 kilos 5 environ, analogues aux échelons à œil des regards d'égout.	1.100*	0.85	935' *
	Plus-value pour calibrage soigné des œils des crampons.	1.100*	0.20	220' *
	Pose, réglage, scellement au ciment et peinture desdits crampons	70	2' *	140' *
12	Motifs décoratifs en "céramique nouvelle", système G. Siéver, compris montage, pose et scellements . . .	*	*	25.000' *
13	Installation complète d'un paratonnerre à grande tige, compris supports, conducteurs, isolateurs, puits de perd-fluide et perd-fluide.	*	*	3.000' *
	Total. . . . .	.....	.....	205.740' *
	Dans notre devis de concours, nous avions fait, sur un total partiel de 167.570 fr., une réduction de 2.570 fr., ramenant le chiffre à 165.000 fr.			
	Nous portons cette réduction à . . . . .	.....	.....	2.740' *
	Reste net. . . . .	.....	.....	203.000' *

Pour le battage des pieux de fondations, les entrepreneurs ont obtenu de remplacer le mouton prévu au cahier des charges par une sonnette à vapeur, système Decout-Lacour, dans le but d'accélérer le travail. La masse frappante, du poids de 1 200 kg. tombait de 1^m,50 de hauteur et le refus était considéré satisfaisant quand l'enfoncement ne dépassait pas 15 mm. après une volée de 10 coups.

Les 133 pieux ont été répartis comme l'indique la fig. 49. Leur écartement dans le sens des rayons est de 1^m,30 ; il varie entre 1^m,16 et 1^m,31 dans l'autre sens.

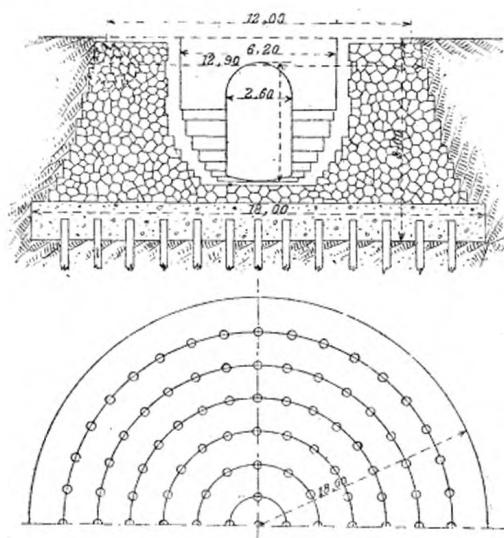


Fig. 49.

La longueur des pieux a atteint une moyenne de 9^m,20 ; la longueur maximum a été de 10^m,25.

La couche de glaise qui forme le sous-sol imperméable a une épaisseur variant, suivant l'emplacement des pieux, entre 8^m,32 et 6^m,65.

L'enfoncement produit par la dernière volée de 20 coups a été de 17 à 18 mm. en moyenne ; certains pieux n'ont donné que 9 mm. Quand tous les pieux ont été battus, la fouille a été approfondie jusqu'au contact de la glaise, les pieux récepés et leurs têtes emprisonnées dans le béton, comme il était prescrit au cahier des charges.

Pour la construction de la cheminée proprement dite, MM. Nicou et Demarigny ont employé un système élévatoire de la plus grande simplicité. Une locomobile actionnait un treuil dont le câble en fils d'acier passait sous une poulie fixée à la base du piédestal et s'élevait dans la

cheminée jusqu'à la poulie supérieure suspendue, au moyen de cordes, à une traverse reposant sur la maçonnerie. Les ouvriers travaillaient sur un plancher, au-dessus de cette poulie ; un second plancher, à deux mètres plus bas, permettait d'emmager les matériaux. Les briques, par paquets de huit, réunies par élingue, et les seaux de mortier étaient suspendus à un crochet à huit branches fixé à l'extrémité du câble ; il n'y avait aucun système de guidage.

L'aspect général de la cheminée est très heureux. La teinte d'ensemble, couleur nankin, est relevée par une décoration polychrome qui produit le meilleur effet, en raison des lignes simples de l'édifice. Les quelques détails de la *Pl. 3* permettent de se rendre compte du soin qui a été apporté dans l'étude de toutes les parties de la cheminée pour concilier à la fois les nécessités de la construction et de l'ornementation.

Cheminée de l'Usine Suffren.

La cheminée de l'Usine Suffren a été étudiée, comme nous l'avons dit précédemment, par le service mécanique de l'Exposition ; elle ne diffère pas sensiblement de celle de La Bourdonnais, au moins comme dimensions principales ; mais à la suite de certaines modifications de construction, le poids des deux cheminées n'étant pas le même, les calculs de résistance furent établis à nouveau.

Nous les résumons dans le tableau suivant ; leur comparaison avec ceux du tableau de la page 32 permettra de se rendre compte de la différence, peu importante, qui existe entre les chiffres.

Numéros des rouleaux	Volume de maçonnerie de chaque rouleau		Poids de la maçonnerie	Surfaces diamétrales	Pression du vent depuis le haut de la cheminée jusqu'au bas du rouleau considéré	Hauteur du centre de pression	Moment de flexion M	Section de la maçonnerie au bas du rouleau Ω	Moment d'inertie I = $\frac{\pi}{64}(d^4 - d'^4)$	Charge par cm² sans vent N	Charge par cm² avec vent N + $\frac{M_0}{\Omega}$
	m³	tonn.		partielles cumulées N	partielles cumulées	tonnes	mètr.	tonnes m.	m²		
1	50	90	90	33	33	5,9	2,50	14,8	17,4	"	"
2	30	54	144	31	64	11,7	5	58,5	5,7	19	2,52
3	54	97	241	41	105	18,9	8,30	157	7,9	30,9	3,05
4	70	126	367	43	148	26,8	11,60	310	10,7	46	3,42
5	109	180	547	50	198	35,6	15,10	538	13,5	66	4,03
6	116	208	755	52	250	45	18,40	830	16,7	91,5	4,52
7	152	273	1028	60	310	55,8	21,90	1220	20,0	124	5,15
8	184	330	1358	64	374	67,2	25,30	1700	23,7	156	5,73
9	230	415	1773	69	443	80	28,60	2290	34,3	272	5,18
10	960	1730	503	187	630	113	35,15	3960	83	945	4,2

Le système de fondations adopté est semblable à celui de La Bourdonnais ; mais la partie décorative des deux édifices est différente, quoique obtenue par les mêmes moyens.

Nous reproduisons, *Pl. 4*, une série de dessins de cette cheminée et quelques détails principaux.

Sa construction a donné lieu à une adjudication sur cahier des charges et devis estimatif analogues à ceux que nous avons examinés dans le projet Nicou et Demarigny.

Nous ne reviendrons pas sur les conditions imposées aux entrepreneurs ; elles étaient les mêmes, à peu de chose près, dans les deux cas.

A la suite de l'adjudication, MM. Toisoul, Fradet et C^e, constructeurs ayant présenté le rabais le plus élevé, furent chargés de la construction de la cheminée, pour la somme de 186 000 francs, au lieu de 203 000, chiffre porté sur le cahier des charges.

Les entrepreneurs de la cheminée Suffren ont employé une cage guidée pour monter les matériaux au fur et à mesure de la construction. La cage était suspendue à une chaîne à maillons calibrés et mise en mouvement par un treuil Bernier commandé au moyen d'une locomotive.

Ce mode d'ascension, moins primitif que celui de MM. Nicou et Demarigny, permettait de monter des charges plus considérables, mais à vitesse réduite, de sorte qu'en tenant compte des pertes de temps occasionnées par l'allongement des guidages, il n'a pas donné le résultat attendu au point de vue de l'avantage qu'il semblait présenter sur le premier.

Nous terminerons le chapitre relatif aux cheminées en notant l'abandon complet du projet d'éclairage qui avait été conçu au début. Devant la complication des projets présentés, le Jury avait renoncé à donner la prime correspondante à ce concours particulier et malgré le rapport de M. Hirsch qui préconisait l'éclairage des sommets de chaque édifice au moyen de puissants projecteurs électriques, l'Administration laissa fumer les cheminées dans l'ombre.

CHAPITRE III

PRODUCTION DE LA VAPEUR

Examen des chaudières en fonctionnement.

Nous avons vu que les 94 générateurs admis à fournir la vapeur au service de force motrice avaient été répartis au Champ-de-Mars entre les usines Suffren et La Bourdonnais, sauf les deux chaudières américaines installées à Vincennes.

Nous examinerons successivement tous ces générateurs dans l'ordre où nous les avons présentés au tableau de la page 11.

*Générateurs système Buttner,
(Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie, constructeurs)*

MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et C^o, constructeurs à Saint-Etienne, ont installé à l'usine La Bourdonnais, un générateur multitubulaire du système Buttner, admis par le Comité technique des machines pour une production de 2 700 kg. de vapeur à l'heure.

Cette chaudière ayant une surface de chauffe de 159 m² et une surface de grille de 4m²,50, la vaporisation moyenne par mètre carré de surface de chauffe et par heure était de 17 kg. d'eau.

Les dessins de la Pl. 5 donnent les détails de construction de cet appareil.

On s'est attaché, dans la chaudière Buttner, à faire disparaître les inconvénients de la faible vaporisation par mètre carré de surface de chauffe, de la grande quantité d'eau entraînée par la vapeur, des dépôts abondants dans les faisceaux tubulaires et les dangers résultant de l'inégalité des dilatations, qui se présentent généralement dans les chaudières multitubulaires construites pour de fortes pressions et des espaces restreints, en raison de la nécessité d'établir de puissantes unités de force motrice.

Description. — La chaudière Buttner comprend une série de tubes aboutissant dans deux boîtes ou collecteurs.

Ces collecteurs sont reliés au corps cylindrique supérieur par deux communications.

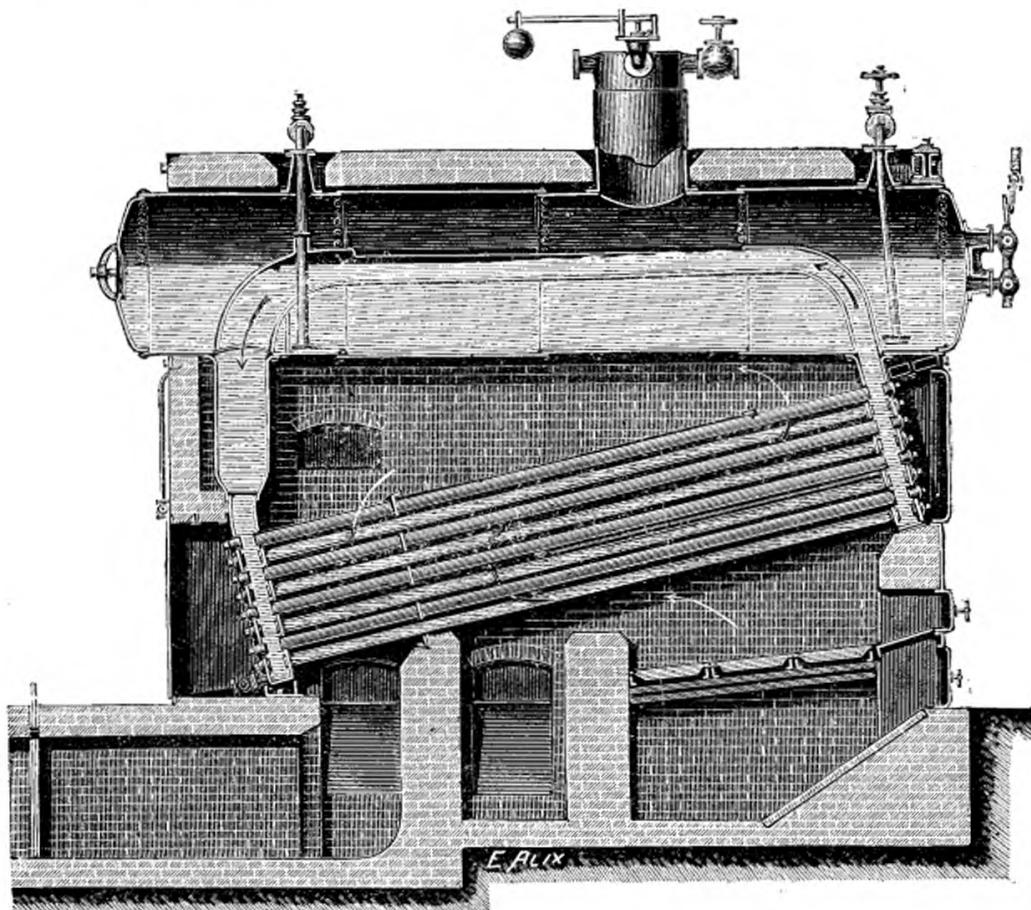


Fig. 20. — Chaudière système Buttner, type à volume d'eau moyen.

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 ainsi 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.

Puissance de vaporisation. — L'eau circulant très rapidement dans les tubes absorbe très bien la chaleur du foyer ; il en résulte une grande puissance de vaporisation de la chaudière, qui produit normalement 18 à 20 kg. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Siccité de la vapeur. — 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 pourrait entraîner; de plus, la vapeur qui est produite dans le corps cylindrique se dégage au-dessus d'une masse d'eau très calme, et, par suite, n'entraîne pas d'eau.

Toutes les parties de la chaudière donnent donc de la vapeur sèche.

Absence de dépôts dans le faisceau tubulaire. — L'alimentation se fait dans le corps cylindrique et à l'avant. A la température de l'eau de la chaudière, les sels en suspension dans l'eau se précipitent; ils s'achèment lentement vers l'arrière, mais ils sont arrêtés par une cloison étanche contre laquelle ils s'accumulent. Ces dépôts peuvent être expulsés par des extractions que l'on fait en marche, et très facilement, au moyen d'un tube et de robinets appropriés.

L'eau qui se rend dans le faisceau tubulaire a donc été préalablement débarrassée de ses impuretés ; elle ne peut, par suite, produire des incrustations dans ce faisceau.

Dilatation. — Grâce à l'activité de la circulation, les tubes sont maintenus à une température à peu près constante et voisine de celle du corps cylindrique ; on évite ainsi les accidents provenant des dilatations inégales.

Depuis plusieurs années, de nombreuses applications ont été faites avec le générateur Buttner ; elles ont toutes donné d'excellents résultats. La maison Biétrix, Leflaive, Nicolet et C^{ie} construit ces chaudières d'une façon courante, conformément aux indications du tableau ci-après.

Pour les industries où l'on consomme irrégulièrement de grandes quantités de vapeur, telles que mines, forges, teintureries, etc., la même maison fournit la chaudière Buttner multitungulaire à grand volume.

d'eau ; elle ne diffère de la première 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.

Production de vapeur à l'heure en kilog.	TUBES		RÉSERVOIR SUPÉRIEUR		MASSIF DE MAÇONNERIE			VOLUMES		DIAMÈTRE	
	Nombre	Longueur	Diamètre	Longueur	Longueur	Largeur	Hauteur	Eau	Vapeur	Prise de vapeur m/m	Alimentation m/m
830	36	3 700	1 000	5 200	4 800	2 040	3 675	3 280	2 420	80	40
950	42	3 700	1 000	5 200	4 800	2 200	3 900	4 480	2 420	80	40
1 100	36	5 000	1 000	6 500	6 100	2 040	3 820	4 000	2 935	90	50
1 260	42	5 000	1 000	6 500	6 100	2 200	3 900	4 200	2 935	90	50
1 440	49	5 000	1 000	6 500	6 100	2 200	4 050	4 535	2 935	100	50
1 640	56	5 000	1 000	6 500	6 150	2 350	4 050	4 785	2 945	100	50
1 850	64	5 000	1 000	6 500	6 200	2 350	4 150	5 170	2 935	120	50
2 140	72	5 000	1 300	6 500	6 200	2 500	4 500	7 225	4 685	120	65
2 370	81	5 000	1 300	6 500	6 200	2 500	4 600	7 525	4 685	120	65
2 600	90	5 000	1 300	6 500	6 200	2 540	4 600	7 920	4 685	130	65
2 860	99	5 000	1 300	6 500	6 200	2 800	4 600	8 260	4 685	130	65
3 100	108	5 000	1 300	6 500	6 200	2 960	4 600	8 610	4 685	130	65
3 380	117	5 000	1 500	6 500	6 200	3 120	4 900	10 400	6 150	150	80
3 620	126	5 000	1 500	6 500	6 200	3 270	4 900	10 750	6 150	150	80
3 870	135	5 000	1 500	6 500	6 200	3 430	4 900	11 100	6 150	150	80
4 170	144	5 000	1 600	6 500	6 200	3 580	5 200	13 130	8 660	175	90
4 400	153	5 000	1 600	6 500	6 200	3 740	5 250	14 280	8 650	175	90
4 660	162	5 000	1 600	6 500	6 200	4 150	5 250	14 610	8 650	175	90
5 100	180	5 000	1 600	6 500	6 200	4 450	5 250	15 400	8 650	175	90

Générateurs Babcock et Wilcox.

La Compagnie française des générateurs Babcock et Wilcox présentait à l'Exposition vingt chaudières en fonctionnement, réparties de la façon suivante dans les différents services de l'Exploitation :

1° A l'usine Suffren : 4 générateurs multitubulaires, ayant chacun 301 m² de surface de chauffe et 6^{m^2},17 de surface de grille, admis pour une vaporisation de 3 750 kg. chacun, soit 12^k,4 par mètre carré de surface de chauffe.

2° A l'usine La Bourdonnais :

a. 8 générateurs multitubulaires, ayant chacun 170 m² de surface de chauffe et 3^{m^2},11 de surface de grille, admis pour une vaporisation de 1 875 kg. chacun, soit 11 kg. par mètre carré de surface de chauffe.

b. 2 chaudières marines de 270 m² de surface de chauffe, admises pour une vaporisation de 2 500 kg. chacune.

3^e A l'usine de la Cunette (service des eaux), 4 générateurs de 113 m² de surface de chauffe, vaporisant chacun 2 000 kg. d'eau à l'heure.

4^e A la Tour Eiffel, pilier sud, 2 générateurs du type semi-marine de 102 m² de surface de chauffe, donnant chacun 2 000 kg. de vapeur à l'heure.

L'ensemble représentait une production minima de vapeur, de 47 000 kg. à l'heure,

Les chaudières Babcock et Wilcox sont bien connues et nous n'avons pas à en donner ici une description détaillée. Un exposé complet des différentes transformations qu'elles ont subies a été fait dans la *Revue technique de l'Exposition de 1889*, depuis le premier brevet, pris en Amérique, en 1867.

Nous nous bornerons donc à signaler les quelques points caractéristiques des installations de la Compagnie Babcox et Wilcox à l'Exposition de 1900 ; nous résumerons ensuite les modifications qui ont été apportées dans la construction de ces générateurs depuis 1889 et qui ont abouti au degré de perfectionnement actuel.

1^e *Installation de l'usine Suffren.* — (Voir Pl. 6). Les quatre générateurs qui fonctionnaient dans les sections étrangères étaient du type normal à réservoirs longitudinaux, à grand volume d'eau et de vapeur.

La seule différence avec le type général résidait dans les foyers aménagés pour brûler des fines de mauvaise qualité.

Les grilles des quatre foyers étaient du système Poillon, dit à lames de persiennes. Nous aurons l'occasion de les examiner en détail dans un des chapitres suivants réservé aux foyers et grilles.

Deux de ces foyers étaient soufflés par du vent forcé provenant d'un ventilateur placé à l'arrière des chaudières. Les deux autres étaient munis d'une tuyauterie de vapeur lançant sous les grilles des jets de vapeur croisés.

Dans les foyers soufflés par un ventilateur, les tuyauteries qui canalisent l'air passent dans le fourneau où l'air s'échauffe, ce qui augmente d'autant le rendement de la soufflerie.

Dans le système Poillon, l'air est introduit par les portes des cendriers. Ces portes sont de construction spéciale et leur ouverture est réglable au moyen d'une vis.

Installation de l'Usine La Bourdonnais. — L'importante batterie de l'usine La Bourdonnais était caractérisée par l'adjonction de grilles

mécaniques fumivores, à alimentation continue et automatique, (voir Pl. 7 et 8) brevet de la Compagnie française Babcock et Wilcox.

Les huit générateurs, disposés en quatre batteries de deux chaudières, étaient desservis par un transporteur sans fin qui distribuait, à l'aller, le charbon aux huit foyers et entraînait au retour, les escarbilles jusqu'à une fosse d'où on les extrayait chaque matin.

Les grilles sont constituées par une chaîne sans fin formée de petits éléments ou barreaux articulés. L'entraînement se fait, à l'avant, par un tourteau ; à l'arrière un tourteau semblable guide la grille dans son mouvement ; des rouleaux intermédiaires maintiennent la chaîne horizontale et, par leur roulement, facilitent l'entraînement de la grille. L'ensemble est porté sur deux flasques entretoisées munies de galets de roulement qui permettent de ramener la grille en arrière pour la visiter.

Le tourteau de commande est actionné par un engrenage hélicoïdal et une vis sans fin. Le mouvement général est donné par un arbre, régnant à l'avant de toutes les chaudières et commandé à une extrémité par un moteur à vapeur.

Chaque grille prend au maximum 1/4 de cheval. L'arbre principal fait tourner la vis sans fin par l'intermédiaire d'un excentrique actionnant un cliquet et une roue à rochet, ce qui permet de faire varier la vitesse de la grille.

D'ailleurs, il est possible de passer d'une vitesse quelconque à l'arrêt absolu sans être obligé d'interrompre le mouvement du moteur ; on a ainsi l'avantage d'arrêter momentanément une grille pendant le fonctionnement de la batterie, en laissant tourner les autres.

Dans son mouvement de retour, la grille n'étant plus dans le feu se trouve rafraîchie par l'air qui va servir à la combustion et elle arrive à l'avant complètement froide. Cette grille ne s'altère donc pas ; elle peut marcher pendant plusieurs années sans qu'il soit nécessaire de changer les barreaux.

Le charbon transporté par la grille distille, à l'avant, sous une voûte de grande dimension. Les gaz provenant de la distillation sont rabattus sur le combustible en ignition et brûlés, d'où fumivoreté et économie provenant de la combustion complète.

Le charbon frais tombe sur la grille par l'intermédiaire d'un trémie en tôle. Le fond de cette trémie est fermé par des portes que l'on peut déplacer verticalement au moyen de vis munies de volants à main. La hauteur de ces portes au-dessus de la grille règle l'épaisseur du charbon.

A l'usine La Bourdonnais, chaque trémie recevait le charbon automatiquement grâce à un transporteur. Ce transporteur était obtenu par une chaîne sans fin, dont les maillons avaient la forme de raclettes en tôle. Quatre tourteaux d'entraînement étaient placés aux quatre angles d'un quadrilatère ; l'un d'eux était commandé par le moteur donnant le mouvement aux grilles.

Dans la partie supérieure, les maillons passaient dans un couloir horizontal en tôle, à l'une des extrémités duquel le charbon était déversé par une noria.

En face de chaque batterie, un conduit vertical en tôle alimentait les trémies de deux chaudières ; cette manche en tôle débouchant dans le couloir horizontal, recevait le charbon au fur et à mesure de l'avancement de la chaîne sans fin.

Dans le bas, la chaîne à raclettes du transporteur passe dans les cendriers à l'avant des chaudières ; le matin, les chauffeurs n'avaient qu'à ramener les cendres à l'avant pour qu'elles soient entraînées dans la fosse creusée à l'extrémité de la batterie.

Chaudières marines. — A la suite des huit générateurs à grilles mécaniques fumivores, se trouvait une batterie de deux chaudières du type marine.

La Compagnie Babcock et Wilcox a terminé depuis peu de temps l'installation de ses ateliers de France. La construction des éléments de chaudières est donc très récente ; la compagnie n'a pu encore travailler pour le compte de l'Etat, qui exige une fabrication essentiellement française, de sorte que son type de chaudière marine est peu connu en France, quoique les marines marchandes et militaires des Etats-Unis et de l'Angleterre l'emploient couramment.

Nous donnons *Pl. 9 à 11* les dessins relatifs à ces chaudières marines, dont les dimensions d'encombrement, par unité, sont les suivantes :

Hauteur du sol à l'axe du réservoir	3 ^m ,806
» » » de la prise de vapeur . . .	5 ,519
Profondeur prise à la base.	3 ,404
Largeur au droit du cendrier	3 ,875

3^e Usine de la Tour Eiffel. — Au pilier sud de la Tour de 300 m, la Compagnie française Babcock et Wilcox a installé deux générateurs dans un espace très restreint.

Ces chaudières, avec un encombrement total de 3^m,70×2^m,50×4^m,20, fournissaient une surface de chauffe de 200 m² et correspondaient à

une puissance totale de 580 chevaux. Elles étaient constituées de la même façon que les chaudières du type marine.

Chacune d'elles comprenait dix collecteurs ondulés, avant et arrière, réunis par paire, près du foyer, au moyen de deux tubes de 102 mm. et, au-dessus, par le groupe de quatre tubes de 38 mm. Les collecteurs arrière sont reliés au réservoir d'eau et de vapeur par deux tubes de 102 mm. permettant un dégagement rapide de la vapeur. Les collecteurs avant sont reliés par des nipples de 102 au réservoir supérieur et au collecteur inférieur de dépôts.

Comme dans les chaudières marines, ces réservoirs d'eau et de vapeur sont surmontés de ballons assurant aux machines une arrivée de vapeur absolument sèche.

Les façades des chaudières sont inclinées pour dégager la chufferie et donner plus de liberté aux mouvements du personnel.

Les chicane sont placées dans le sens des tubes au lieu d'être perpendiculaires aux tubes comme dans les chaudières de terre. La sortie des gaz de la combustion se fait à la partie supérieure des chaudières, en arrière des réservoirs.

Le ramonage des tubes s'effectue par des portes de côté, spécialement aménagées pour cette opération, avec des ouvertures correspondant à chaque intervalle de tubes. Ce ramonage se fait à la lance.

4^e Usine de la Cunette. — (Service des eaux). — L'usine du port de la Cunette comportait un certain nombre de pompes Worthington auxquelles la vapeur était fournie par des chaudières Babcock et Wilcox.

L'installation comprenait quatre générateurs, divisés en deux batteries de deux chaudières, munies de grilles mécaniques fumivores et de surchauffeurs.

Les chaudières étaient du type courant, à réservoir longitudinal de 6^m,938 de longueur en dehors des fonds, avec six éléments composés de neuf tubes. Elles correspondaient à une puissance totale de 950 chevaux.

Les grilles étaient absolument semblables à celles des batteries de l'usine La Bourdonnais ; mais le charbon n'était pas déversé au moyen d'un transporteur ; on l'approvisionnait à la main dans les trémies.

Sur chaque chaudière, le réservoir d'eau et de vapeur possédait un ballon épurateur servant également de ballon de vapeur. L'alimentation se faisait dans ce ballon ; la plus grande partie des sels et des boues

s'y précipitait et on les écoulait par de nombreuses extractions faites en marche.

Chaque *surchauffeur*, du système Babcock et Wilcox, était composé d'un double faisceau de tubes en acier étiré, sans soudure, de 38 mm. de diamètre, dont les extrémités sont mandrinées dans deux collecteurs en acier forgé à section carrée.

Le collecteur supérieur porte en son milieu deux tubes de 102 mm. qui plongent dans la vapeur du réservoir. Le collecteur inférieur est relié en ses extrémités, par des tubes de 102, au corps de la valve de prise de vapeur.

Un tube de 50 relie également le collecteur inférieur à l'eau du réservoir et sur ce tube, un robinet à trois voies permet de remplir d'eau le surchauffeur ou de le vidanger.

On peut ainsi utiliser le surchauffeur comme surface de chauffe directe. Une prise de vapeur saturée, de 15 à 18 mm, reliée à la valve, permet de régler le degré de surchauffe en admettant plus ou moins de vapeur saturée dans la vapeur surchauffée.

Ces surchauffeurs permettent d'élèver la température de la vapeur de 70° au moins au-dessus de sa température normale.

La Compagnie française Babcock et Wilcox construit également ces appareils avec double faisceau permettant de pousser la surchauffe jusqu'à 130 et 140° au-dessus de la température de formation de la vapeur.

Construction des générateurs Babcock et Wilcox, en France. — Les ateliers établis récemment à la Courneuve par la Compagnie Babcock et Wilcox, renferment des machines nouvelles, appropriées à la fabrication spéciale des générateurs, qui ont permis de réaliser les plus grands perfectionnements dans la construction.

Toutes les pièces composant la chaudière Babcock sortent maintenant de ces ateliers, ainsi que les accessoires, grilles mécaniques fumivores, surchauffeurs, réchauffeurs, économiseurs, épurateurs simples ou épurateurs chimiques, cheminées, tuyauteries etc.

Pour suivre facilement la construction de ces organes, nous énumérerons successivement les différentes parties constitutives de ces ateliers en relatant les travaux qui y sont exécutés.

1^o *Atelier de fabrication des réservoirs.* — Les réservoirs et les ballons de vapeur sont construits dans cet atelier, où les tôles d'acier entrent toutes tracées. Depuis ce moment et jusqu'à l'achèvement com-

plet du réservoir, y compris l'épreuve, les tôles passent d'une machine à l'autre, soit par l'intermédiaire du pont roulant qui dessert tout l'atelier, soit au moyen de grues et de treuils hydrauliques réservés au service de chaque machine.

La force hydraulique joue un grand rôle dans cet atelier. Elle est utilisée pour les servantes des machines, les treuils d'assemblage, les riveuses, d'une puissance de 50 tonnes, et le cintrage.

Cette dernière opération au lieu d'être amorcée au marteau, ce qui fatigue beaucoup le métal, est commencée à l'aide d'une presse hydraulique spéciale, qui cintre le bord de la tôle à froid avec une puissance de 300 tonnes.

Aucun trou n'est poinçonné ; de nombreuses machines à percer, horizontales et verticales, sont réparties dans l'atelier pour percer les trous.

De plus, le perçage est fait après assemblage complet du réservoir ; on évite ainsi que les trous ne tombent pas en face les uns des autres. Le matage des pinces se fait mécaniquement, par des marteaux à air comprimé.

2^e Atelier de forge et d'emboutissage. — Dans cet atelier sont forgés les collecteurs ondulés en acier qui réunissent les tubes du faisceau tubulaire en éléments verticaux.

Les détails de cette fabrication, fort intéressants, nous entraîneraient un peu loin.

Au moyen de presses hydrauliques très puissantes, on fabrique également toutes les pièces embouties : fours, piétements, boîtes de connexion, tampons de trous d'homme, tampons de trous de poing, etc.

Un atelier annexe de celui-ci, muni de machines spéciales, permet d'usiner les collecteurs sortant bruts de la forge et les pièces embouties.

3^e Atelier de montage des sections. — Les sections sont les éléments du faisceau tubulaire.

Les tubes sont reçus à l'usine, après avoir été réceptionnés par les diverses associations des propriétaires d'appareils à vapeur, du ressort desquelles dépendent les usines qui les fournissent.

Ces tubes sont mandrinés à leurs extrémités dans les collecteurs ; chaque élément est éprouvé à la pression hydraulique, puis expédié dans un bâtiment spécial, réservé aux épreuves du Service des Mines.

4^e Atelier de serrurerie. — Dans cet atelier, on fait le montage des

façades et des supports arrière de la chaudière et tous les travaux accessoires de serrurerie et de petite tôlerie

Les portes à tubes, les portes de foyers et de cendriers sont ajustées sur les façades avant la livraison du générateur.

5° *Fonderie.* — Une fonderie de fonte de deuxième fusion permet à la Compagnie Babcock et Wilcox de fabriquer elle-même toutes les pièces en fonte et accessoires de ses chaudières : portes à tubes, portes de foyers et de cendriers, portes de visite, collecteurs de dépôts, registres, contrepoids de registres, etc.

Deux cubilots de 3 tonnes par heure chacun, permettent de couler tous les jours.

La fonderie est desservie par un pont roulant électrique de 5 tonnes et deux grues électriques de 3 tonnes. En sus des machines à mouler à main, des machines hydrauliques spéciales permettent d'obtenir le moulage mécanique des pièces qui se répètent un grand nombre de fois.

Comme annexe de la fonderie de fonte, la Compagnie Babcock et Wilcox a monté deux creusets à fondre le bronze d'après les derniers modèles américains.

6° *Atelier d'ajustage.* — Toutes les pièces ajustées des chaudières passent dans cet atelier ; mais il est surtout alimenté par le service d'entretien de l'usine. Les nombreuses machines qui le composent permettent de travailler toutes les pièces de rechange des machines et, au besoin, de construire une machine neuve de toutes pièces.

Des forges et un marteau-pilon sont annexés à cet atelier.

7° *Atelier de chaudronnerie.* — Cet atelier est réservé à la fabrication des tuyauteries d'acier et de cuivre.

Toutes les tuyauteries de vapeur sont en acier. Les joints sont constitués par des manchettes embouties, rivées aux extrémités de chaque tuyau et assemblées par des brides tournantes à emboîtement en acier coulé.

Le rivetage des collarettes est fait par des riveuses hydrauliques et le matage est obtenu par des marteaux à air comprimé.

Cet atelier reçoit les tuyaux droits de tous diamètres et l'outillage qu'il renferme permet de les cintrer suivant tous gabarits.

8° *Hall de chargement.* — Un grand hall, desservi par un pont roulant électrique, permet de charger les chaudières sur wagons à l'abri des intempéries. Les chargements sur camions se font également

dans ce hall et dans la cour, au moyen d'une grue électrique qui circule entre tous les ateliers.

9^e *Machinerie*. — La vapeur obtenue par une batterie de chaudières de Babcock et Wilcox, est distribuée aux appareils suivants :

a. Deux machines à vapeur verticales qui commandent les transmissions des machines-outils.

b. Quatre groupes électrogènes qui alimentent les ponts roulants et la grue, donnent la force à des dynamos réceptrices éloignées du centre et assurent l'éclairage de l'usine.

c. Deux pompes Worthington qui compriment l'eau à 180 kg. dans un réseau de tuyauteries régnant dans les différents ateliers.

d. Deux compresseurs d'air à 6 kg. qui alimentent les marteaux à mater et les vérins pneumatiques. Ces vérins remplacent un peu partout les palans différentiels à chaînes, dans les endroits où il n'y a que de faibles poids à soulever et où la pression hydraulique serait superflue.

Cet exposé succinct des ateliers de la Courneuve permet de se rendre compte de l'important outillage créé par la Compagnie Babcock et Wilcox, en France, pour la fabrication de ses générateurs. Les appareils qui figuraient à l'Exposition ont consacré par leur fonctionnement ininterrompu, les heureux résultats obtenus dans la nouvelle construction et les derniers perfectionnements apportés aux chaudières elles-mêmes.

Pour terminer, nous donnons ci-dessous quelques procès-verbaux des essais effectués tout récemment sur ces chaudières.

Essai des Chaudières de l'Exposition munies de grilles système Poillon.

Combustible employé.	Fines de très bonne qualité
Durée de l'essai.	7 heures
Surface de chauffe totale : S.	600 m ²
Surface de grille totale : G.	10 m ² , 40
Rapport $\frac{S}{G}$	57, 7
Pression initiale de la vapeur	9 ^t , 75
» finale »	10 ^t , 75
» moyenne »	10 ^t , 40
Eau totale vaporisée	52.230 ^t , 00
Eau vaporisée par heure	7.461 ^t , 00
» » » et par m ² de surface de chauffe	12 ^t , 435
Charbon brûlé brut.	6.120 ^t , 00
Eau vaporisée par kg. de charbon brut	8 ^t , 53
Travail fourni très régulier.	

*Compagnie générale des omnibus. — Traction électrique
Usine de Lagny (Seine).*

**Essais sur deux chaudières Babcock et Wilcox de chacune 336 m²
de surface de chauffe.**

Nature du combustible	Briquettes N° 1 d'Anzin
Durée de l'essai.	10 heures
Surface de chauffe totale S	672 m ²
Surface de la grille totale G	12 m ²
Rapport $\frac{S}{G}$	56,00
Pression moyenne	10 ^k ,05
Température d'eau d'alimentation	19°,00
Eau totale vaporisée	101.028 ^k ,00
» » par heure	10.102 ^k ,00
» » par heure et par m ² de surface de chauffe.	15 ^k ,034
Charbon brut brûlé.	10.767 ^k ,00
Cendres sèches.	505 ^k ,00
Mâchefers	284 ^k ,00
Charbon net brûlé.	10.014 ^k ,00
Eau vaporisée par kg. de charbon brut	9 ^k ,383
» » » net.	10 ^k ,09
Charbon brut brûlé par m ² de grille et heure	90 ^k ,00

Essai aux ateliers des chantiers de la Loire, à Saint-Denis.

(7 Décembre 1900)

Début de l'essai	9 heures
Fin de l'essai.	3 »
Durée de l'essai.	6 »
Nature du charbon	Briquette Anzin à tête de rivet
Température moyenne de l'eau d'alimentation.	11°,5
Pression moyenne au manomètre.	11 ^k ,5
Surface de chauffe	132 m ²
» grille	2 ^m ,86
Eau vaporisée totale.	11.130 ^k ,00
» » par heure.	1.855 ^k ,00
» » » et par m ² de surface de chauffe.	14 ^k ,00
Charbon brut brûlé total	1.200 ^k ,00
» » par heure.	200 ^k ,00
» » » et m ² de surface de grille.	70 ^k ,00
Eau vaporisée par kilogramme de charbon brut.	9 ^k ,275
Poids de charbon net	1.175 ^k ,00
Eau vaporisée par kilogramme de charbon net.	9 ^k ,5

*Compagnie générale des omnibus (Usine de Billancourt)***Essais de Consommation du 17 Mai 1900.**

Chaudières en essai.	N° 5 et 6
Surface de chauffe	420 m ²
Surface de grille réduite.	6m ² , 36
Nature du combustible	Briquette d'Anzin
Température de l'eau dans la bâche	10 à 11°
» » à la sortie de l'économiseur	60°
Durée de l'essai (8 h.,30' à 6 h.,40')	10 h.,10'
Eau vaporisée totale.	54.116 ^k , 00
» » par heure	5.322 ^k , 85
» » » et par m ² de surface de chauffe.	12 ^k , 673
Charbon brut total	5.996 ^k , 00
Eau vaporisée par kg. de charbon brut	9 ^k , 02
Escarbilles et mâchefers secs	384 ^k , 00
Charbon net	5.612 ^k , 00
» » par heure et m ² de surface de grille	86 ^k , 8
Charbon par heure	552 ^k , 00
Eau par kg. de charbon net	9 ^k , 64

Générateur Crépelle-Fontaine

M. Crépelle-Fontaine, constructeur à la Madeleine-lez-Lille, exposait à l'usine La Bourdonnais, une chaudière multitungulaire de 176m², 4 de surface de chauffe et 5m², 72 de surface de grille, qui avait été admise par le Comité technique pour une vaporisation de 3 000 kg. à l'heure, soit 19^k, 2 par mètre carré de surface de chauffe.

Cette chaudière, du type ordinaire à lames d'eau, ne présentait rien de particulier dans sa construction.

Générateurs Ewald Berninghaus.

La maison Ewald Berninghaus, de Duisbourg (Allemagne) présentait, à l'usine Suffren, 2 groupes de chaudières, savoir :

1^o Un groupe de 4 chaudières, types Cornwall et tubulaire combinés, admis par le comité technique pour une production de 10 600 kg. de vapeur à l'heure, soit 2 650 kg. par chaudière. Chacun de ces générateurs a une surface de chauffe de 250 m² et une surface de grille de 4m², 40, de sorte que la vaporisation admise par mètre carré de surface de chauffe et par heure était de 10,60 kg. d'eau.

2^o Une chaudière type Cornwall, à triple foyer, admise pour une production de 2 670 kg. de vapeur, avec une surface de chauffe de 125 m² et

une surface de grille de 4^m,45. Vaporisation d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure : 21 kg.

1^e Générateurs Cornwall-tubulaire combinés. — (Voir Pl. 12). Chacun des 4 générateurs de ce type se compose en réalité de deux chaudières placées l'une au-dessus de l'autre et reliées par un tuyau de communication de 600 mm. de diamètre.

La chaudière inférieure comprend un corps tronconique, de 2^m,500 de diamètre à l'avant et 2^m,400 à l'arrière, qui renferme deux bouilleurs Cornwall-Galloway, dans lesquels sont placés les foyers.

La chaudière supérieure se compose d'un corps cylindrique, de 2^m,300 de diamètre et 5^m,450 de longueur, traversé de bout en bout par un certain nombre de tubes de locomotives.

Les gaz qui sortent des bouilleurs intérieurs passent dans les tubes de la chaudière supérieure et reviennent au carneau inférieur après avoir circulé autour des deux corps cylindrique et tronconique. Pour deux des générateurs, les bouilleurs intérieurs ont 1 m. de diamètre à l'avant et 0^m,680 à l'arrière ; leur longueur est de 6^m,150. Ils sont formés de tronçons reliés par brides, du système « Adamson », qui permettent d'isoler les coutures du feu et qui donnent en outre un supplément de résistance à l'ensemble. Ces bouilleurs sont fabriqués dans les ateliers de la maison Berninghaus, à l'aide de machines-outils spéciales et le rivetage est obtenu par la pression hydraulique. Chaque bouilleur renferme 4 tubes Galloway qui donnent une surface de chauffe très efficace.

Les deux autres générateurs sont munis de bouilleurs intérieurs en tôle ondulée système Morisson, qui permettent d'avoir une épaisseur de métal plus faible que dans le système précédent ; ils sont également munis de tubes Galloway. Ces bouilleurs ont été fabriqués dans les ateliers de la maison Thyssen et C^e à Mülheim-sur-Ruhr.

La chaudière supérieure, traversée par les tubes de fumée, est fermée à chaque extrémité par des fonds spéciaux, à surface plane pour l'espace correspondant au raccordement des tubes et à surface bombée pour les autres parties, afin d'éviter les nervures. Jusqu'à 10 atmosphères, ces fonds ne nécessitent pas d'armatures spéciales ; mais pour 12 atmosphères il est indispensable de les relier au moyen de fers plats. La maison Berninghaus étudie cependant un nouveau modèle de fonds, dans lequel les armatures seront supprimées, même pour des pressions de 12 atmosphères.

La tubulure de communication des chaudières inférieure et supérieure est obtenue avec un étrésillon forgé de 600 mm. de diamètre, à travers lequel passe un tube qui relie les réservoirs de vapeur de deux récipients. Ce tube est construit de façon que la vitesse de la vapeur qui monte dans la chaudière supérieure ne soit pas trop élevée et que la différence de pression entre les deux réservoirs de vapeur soit nulle.

L'alimentation d'eau se fait par la chaudière supérieure et un tuyau de trop plein, traversant la tubulure de communication, vient aboutir dans la chaudière inférieure. De plus, celle-ci peut être alimentée indépendamment de la première, au moyen d'appareils placés sous la main du chauffeur, afin d'éviter tout accident par suite d'un manque d'eau par la communication.

Les deux chaudières sont munies d'indicateurs de niveau d'eau et un dôme de prise de vapeur complète l'ensemble.

Ces générateurs permettent d'obtenir une bonne utilisation du combustible ; ils ont un rendement de 75 à 82 0/0 et assurent une production de vapeur, par kilogramme de charbon, allant jusqu'à 10 kg.

Deux des générateurs de cette batterie étaient pourvus de surchauffeurs système Hering (Voir *Pl. 12*), afin de montrer les avantages du surchauffage de la vapeur et son influence sur la puissance productive de chaque unité.

3^e Générateur *Cornwall à triple foyer*.— Le cinquième générateur exposé par la maison Berninghaus en dehors des quatre précédents, est une chaudière cylindrique, à triple foyer intérieur et à réchauffeurs, de 2^m,500 de diamètre et 11 m. de longueur (Voir *Pl. 12*).

Cet énorme corps cylindrique renferme trois tubes bouilleurs placés aux trois sommets d'un triangle isocèle renversé. Les deux bouilleurs ont 0^m,870 de diamètre à l'avant et 0^m,700 à l'arrière ; le bouilleur inférieur a 0^m,700 de diamètre à l'avant et 0^m,560 à l'arrière.

Ces trois tubes présentent une surface de chauffe directe considérable et permettent d'obtenir une vaporisation qui peut atteindre jusqu'à 35 kg. par heure et par mètre carré de surface de chauffe, soit pour la chaudière 4 000 k. à l'heure. Cette vapeur n'est pas humide, étant donné la grande surface d'évaporation qui évite une ébullition intense et, par suite, les entraînements d'eau qui en sont la conséquence. De plus, la vapeur se dégage en dernier lieu dans le dôme, autour duquel circulent les gaz avant de s'échapper à la cheminée. Elle se trouve ainsi produite à l'état de vapeur sèche.

Les tronçons des bouilleurs sont réunis au moyen de brides système Adamson et les fonds du corps cylindrique n'ont pas besoin d'armatures.

Deux réchauffeurs, de 0^m,700 de diamètre et de 11 m de longueur, placés dans la chambre supérieure, utilisent la chaleur des gaz de la combustion avant leur départ dans les canaux d'échappement, pour chauffer progressivement l'eau d'alimentation qu'ils reçoivent directement.

Appareils de sûreté, de mesure, d'analyse etc.. — Toutes les chaudières Berninghaus sont munies des appareils de sécurité nécessaires et en particulier de clapets de retenue système Sinner. Chaque clapet est intercalé sur la conduite de vapeur de la chaudière ; il se fermerait immédiatement en cas de rupture de cette conduite et éviterait ainsi les graves accidents causés par un échappement de vapeur prolongé du côté de la chaudière.

Chaque conduite d'alimentation possède un compteur d'eau du système Siemens et Halske, qui permet de suivre la vaporisation d'eau dans les chaudières à tout moment.

Enfin, la batterie de quatre générateurs était munie d'un appareil spécial pour analyser les gaz de la combustion et en particulier pour indiquer à chaque instant leur teneur en acide carbonique. Cet appareil, du système Krell, de la maison Schultze de Berlin, peut rester constamment en circuit ; il enregistre les résultats, dans une chambre noire, sur des plaques photographiques et il permet, par suite, de se rendre compte de la manière dont le chauffeur conduit ses feux.

Générateurs Fitzner et Gamper.

La Société des Etablissements W. Fitzner et K. Gamper, qui possède à Sielce, près Sosnowice (Pologne russe), d'importants ateliers de charronnellerie, présentait à l'usine Suffren un générateur multitubulaire de 130 m² de surface de chauffe et 3^{m²}40 de surface de grille, qui avait été admis par le comité technique des machines pour une production de 2050 kg. de vapeur à l'heure.

Il en résultait une vaporisation moyenne de 1^t,60 d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure, à la pression de 11 kg.

Nous donnons, Pl. 13, les dessins relatifs à cette chaudière. Elle est à tubes d'eau, du système Gamper-Ibjanski, et se compose d'un collecteur d'eau et de vapeur, d'un collecteur de boues et d'un corps

tubulaire consistant en deux caissons reliés par un faisceau de tubes inclinés.

Le caisson d'avant communique avec le collecteur supérieur d'eau et de vapeur, le caisson d'arrière avec celui des boues; la communication des deux collecteurs précédents se fait à l'aide d'un tuyau de retour d'eau.

Toute la chaudière ainsi que l'armature du foyer est supportée par un léger chevalement métallique facilitant le montage, déchargeant la maçonnerie du poids du générateur et permettant de procéder aux essais à la presse hydraulique avant de faire la maçonnerie.

La construction de la chaudière est extrêmement simple.

Les grandes dimensions des communications de toutes les parties de la chaudière entre elles, celles des caissons avec les collecteurs et celles du retour d'eau en particulier, facilitent beaucoup l'échappement de la vapeur et la circulation de l'eau dans tout le générateur.

La position du collecteur des boues, parallèle à celle du collecteur supérieur, rend facile et commode la vidange du générateur et son nettoyage, en permettant d'aligner plusieurs chaudières de ce type pour une seule batterie.

La disposition de chicanes en fonte tapissées de briques réfractaires, d'une forme spéciale et variable suivant les circonstances, assure une bonne utilisation de la chaleur des gaz, en leur faisant parcourir un chemin suffisamment long entre les tubes du faisceau tubulaire.

Le montage et le transport du générateur sont très faciles.

La chaudière est transportée en trois pièces A, B et C (fig. 22), à pied d'œuvre, il ne reste plus qu'à river le retour d'eau *a* sur le manteau *b* et à dudgeonner les embouchures des tubes *c* dans les ouvertures des caissons.

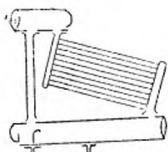


Fig. 21.

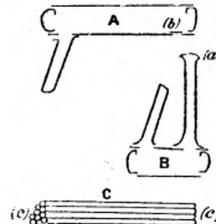


Fig. 22.

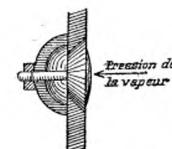


Fig. 23.

La fermeture des trous de visite situés vis-à-vis de chaque orifice se fait par des autoclaves coniques munis de boulons à écrous et de cavaliers en tôle, estampés en forme d'assiette (fig. 23).

Le forage spécial de ces autoclaves permet de les placer chacun dans son trou, en supprimant ainsi l'emploi des trous spéciaux ovales. Ils sont fraisés et strictement interchangeables ; la tension de la vapeur les presse contre les parois fraîssées de leurs trous.

Le générateur est construit en tôles d'acier Siemens-Martin basique de la meilleure qualité doux et ne prenant pas de trempe.

L'exécution des deux collecteurs, des trous d'homme et des tubulures est la même que celles des parties correspondantes de la chaudière Lancashire qui était exposée par la même société, dans la section russe du groupe IV, et que nous aurons l'occasion d'examiner dans le chapitre des générateurs inertes.

Les caissons sont obtenus en tôle emboutie et soudée ; ils sont renforcés par une série de boulons entretoisisés *b* ; les trous pour les tubes et les trous de visite *a* sont fraisés (fig. 24).

Les tubes sont essayés à la pression de 30 kg.

Le générateur est muni de toute sa robinetterie, des appareils de sûreté, de vidange et d'indicateurs de niveau de l'eau et d'un émulseur de vapeur système Dubiau, destiné à augmenter l'intensité de la circulation de l'eau et de la vapeur dans les générateurs.

Grâce à la grande surface offerte au dégagement de la vapeur et à l'éloignement de la prise de vapeur de l'endroit où ce dégagement est le plus efficace, le générateur ne produit que de la vapeur sèche.

La Société Fitzner et Gamper construit ces chaudières d'une façon courante, suivant les indications contenues dans le tableau suivant :

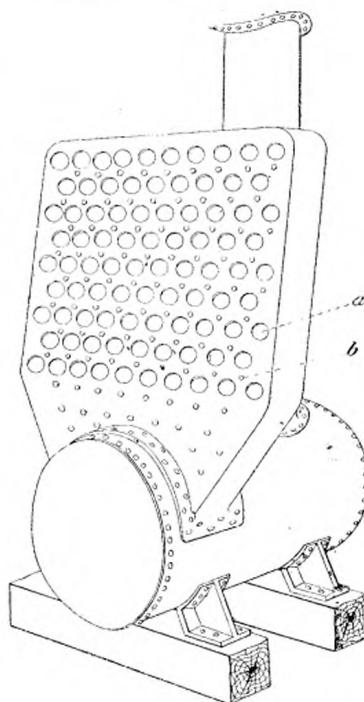


Fig. 24.
Caisson d'arrière.

Chaudières multitungulaires à tubes d'eau, type C.

NUMÉROS	CAISSEONS		DIAMÈTRE du corps supérieur	SURFACE de chauffe	SURFACE de grille	Emplacement indispensable pour une chaudière montée séparément			LARGEUR du massif de deux chaudiè- res montées en batterie
	Hauteur	Largeur				Largeur	Longueur	Hauteur	
	mm.	mm.	mm.	m ²	m ²	mm.	mm.	mm.	
1	1.180	1.100	900	70	1,80	2.400	6.350	3.900	4.150
2	1.180	1.250	1.000	85	2,06	2.550	6.750	4.000	4.450
3	1.310	1.400	1.100	105	2,31	2.700	7.150	4.100	4.750
4	1.310	1.400	1.100	110	2,52	2.700	6.850	4.250	4.750
5	1.310	1.550	1.200	125	2,80	2.850	6.950	4.350	5.050
6	1.310	1.700	1.300	145	3,06	3.000	7.250	4.450	5.350
7	1.440	1.700	1.300	160	3,30	3.000	7.200	4.600	5.350
8	1.440	1.850	1.400	175	3,60	3.150	7.250	4.700	5.650
9	1.440	2.000	1.500	195	3,90	3.300	7.350	4.800	5.950
10	1.570	2.000	1.500	210	4,00	3.300	7.300	4.900	5.950
11	1.570	2.150	1.600	225	4,30	3.450	7.300	5.000	6.250

Générateurs de la Compagnie de Fives-Lille.

La Compagnie de Fives-Lille présentait à l'usine La Bourdonnais trois générateurs semi-tubulaires, à bouilleurs, ayant chacun 210 m² de surface de chauffe et 3m²,60 de surface de grille, qui avaient été admis par le comité technique des machines pour une production totale de 6 300 kg. de vapeur à l'heure.

La capacité productive de chaque chaudière était donc de 2 100 kg. de vapeur horaire de sorte que la vaporisation moyenne par mètre carré de surface de chauffe et par heure atteignait 10 kg. d'eau.

Nous reproduisons, Pl. 14, les dessins relatifs à ces chaudières.

Les trois générateurs sont du type tubulaire, à deux bouilleurs, et à trois parcours de flamme.

Les tubes sont démontables, avec bagues « Bérendorf » ; ils ont 100 mm. de diamètre extérieur.

Le groupe des trois générateurs était renfermé dans un fourneau en briques, établi pour que les gaz de la combustion, après avoir chauffé les bouilleurs, lèchent les parois du corps cylindrique et reviennent vers l'arrière, en passant par les tubes, pour se rendre ensuite dans le conduit de fumée qui les menait à la cheminée.

Un registre de réglage du tirage se trouve placé à l'arrière de chaque générateur.

La manœuvre de ce registre est disposée de manière que l'ouverture des portes du foyer ne puisse se faire qu'après fermeture du registre, afin d'éviter la rentrée d'air pendant le chargement ou le nettoyage de la grille.

Le cendrier est, de plus, muni d'une porte à crémaillère qui permet également de régler l'intensité de la combustion sur la grille.

Les appareils de sûreté et accessoires employés sont des plus perfectionnés, afin d'obtenir le maximum de sécurité.

Les robinets de prise de vapeur sont à clapet automatique, satisfaisant au décret du 29 juin 1886.

Les soupapes de sûreté sont à échappement progressif et à dégagement latéral. Ces deux séries d'appareils sont du système E. Maurice.

Les conditions principales d'établissement et caractéristiques de ces générateurs sont les suivantes :

Timbre	12 kg.
Diamètre du corps de chaudière	2 ^m , 300
Longueur id.	5 ^m , 400
Diamètre des bouilleurs	0 ^m , 900
Longueur id.	5 ^m , 900
Diamètre des tubes	0 ^m , 100
Nombre de tubes	102
Volume d'eau au niveau moyen.	18 ^{m3} , 450
Volume de vapeur au niveau moyen	7 ^{m3} , 650
Volume total intérieur	26 ^{m3} , 100

Générateurs Galloway.

MM. Galloway's, constructeurs à Manchester (Angleterre) ont exposé, à l'usine Suffren, une batterie de 6 chaudières du système Galloway, admises par le comité technique des machines pour une production totale de 16 200 kg. de vapeur à l'heure.

Chacune de ces chaudières ayant une surface de chauffe de 109 m² et une surface de grille de 4^{m2}, 50, la vaporisation moyenne, admise par mètre carré de surface de chauffe et par heure, était de 24^k, 70 d'eau.

Les chaudières Galloway sont trop connues pour que nous en donnions ici une description qui serait superflue. Leur système, à foyer intérieur, dérive de la chaudière « Cornish », qui fut inventée en 1804 (fig. 25), et surtout de la chaudière « Lancashire » (fig. 26), qui comprend deux tubes au lieu d'un.

Le chauffage intérieur donne la plus forte chaleur sur la partie la plus

mince de la matière et loin de la partie la plus basse de la chaudière, où se produisent les incrustations. Les foyers « Lancashire » furent

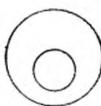


Fig. 25.



Fig. 26.

donc construits, jusqu'en 1853, en forme ovale, le diamètre vertical étant plus grand que le diamètre horizontal ; au delà des autels, les tubes se contractaient et devenaient habituellement circulaires.

En donnant cette forme au foyer, on espérait obtenir une plus grande puissance de chauffe, car les foyers intérieurs semblaient disproportionnés en comparaison de ceux des chaudières qui avaient les grilles en dessous.

Un perfectionnement fut apporté avec la chaudière « Butterley » (fig. 27) dans laquelle la partie inférieure de la face de la chaudière était supprimée pour permettre d'adapter une large ouverture du gueulard ; la flamme passait alors, au delà de l'autel, à travers un tube circulaire jusqu'au fond de la chaudière. Généralement, on appliquait une ondulation qui recevait directement l'action de la flamme ; cette idée a été souvent reprise ; mais, pratiquement, elle ne donne aucun effet utile.

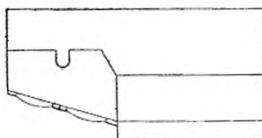


Fig. 27.

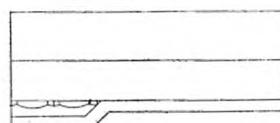


Fig. 28.

Plusieurs modifications furent apportées à ce type de chaudière pour utiliser plus complètement la chaleur du combustible. C'est ainsi que l'enveloppe avant de la chaudière fut construite d'un plus grand diamètre (fig. 28) afin de pouvoir employer des foyers puissants.

Le foyer lui-même fut ensuite agrandi en donnant plus de hauteur à l'entrée qu'au fond ; puis le tube intérieur qui traversait l'enveloppe fut courbé avant d'arriver à la plaque de fond (fig. 29). Mais la chaudière cylindrique avec deux tubes intérieurs traversant le corps d'un bout à l'autre se maintenait et constituait bientôt le type qu'elle a gardé à peu près intact jusqu'à ce jour.

Le premier brevet de la maison W. et J. Galloway date de 1845, pour une chaudière ayant en plan la forme indiquée (fig. 30) et généralement connue sous le nom de chaudière « Breeches » (culotte).



Fig. 29.

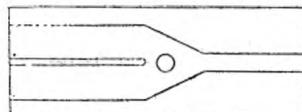


Fig. 30.

Leur but, en adoptant ce modèle, était de supprimer autant que possible la fumée qu'on tentait, à ce moment, de réduire dans de grandes proportions. On chauffait alternativement les deux foyers ; la fumée noire du foyer fraîchement chargé rencontrait, après l'autel, les gaz surchauffés provenant de l'autre foyer et, avec un peu d'attention de la part du chauffeur, la fumée se trouvait en effet réduite au minimum à la sortie de la cheminée.

A la suite du succès obtenu par cette chaudière, MM. Galloway's la perfectionnèrent comme l'indique la fig. 31.



Fig. 31.

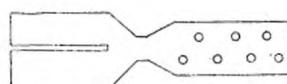


Fig. 32.

En 1849, ils élargissaient le tube, aplatisseient le sommet et la base, et ajoutaient une rangée de tubes en zigzag au centre pour renforcer le tout (fig. 32).

La première chaudière Galloway fut construite en 1845 pour MM. Leeming et C^{ie}, à Salford. Elle avait une longueur de 6^m,710, un diamètre de 2^m,135 et contenait 7 tubes coniques, y compris celui de la jonction.

Jusqu'à cette époque, les tubes avaient toujours été cylindriques et posés avec des collarlettes en fer cornière.. MM. Galloway's, les premiers, leur donnèrent la forme conique (fig. 33), en faisant venir les



Fig. 33.



Fig. 34.

collerettes avec les tubes mêmes, avec un diamètre de 255 mm. au sommet et un diamètre de 178 mm. à la base.

En 1850, ils eurent l'idée d'accentuer encore la forme conique, de façon que la collerette inférieure puisse passer par le trou placé au sommet du carneau et destiné à recevoir la collerette supérieure.

Ce perfectionnement, qui semblait de peu d'importance rendait cependant possible l'introduction des tubes Galloway dans toute chaudière à foyer et carneau intérieurs, puisque l'objection, que l'on faisait généralement, de ne pouvoir enlever les tubes en cas de réparations, était mise à néant. Il fut d'ailleurs le point de départ d'une longue période de travail pour la pose de ces tubes dans les chaudières existantes, à simple ou à double carneau, jusqu'à ce qu'elles en fussent toutes munies. La maison faisait ces tubes dans des dimensions-types, de 268 mm. au large bout et de 140 mm. à l'autre bout, sauf pour les très petits carneaux où ces dimensions sont réduites à 227 et 114 mm.

C'est à l'Exposition internationale de Londres, en 1851, que fut exposée, pour la première fois, la chaudière Galloway complète, en marche (fig. 34).

Le progrès était notable sur les modèles précédents, le carneau, plus large, permettait l'introduction d'un plus grand nombre de tubes coniques ; le carneau avait des surfaces plates et les tubes offraient assez de résistance à la pression. Le succès de la chaudière fut très grand ; il conduisit MM. Galloway's à en développer la construction et à la perfectionner à nouveau.

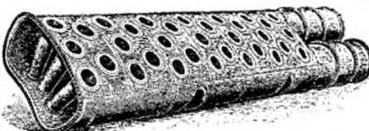


Fig. 35.

En 1860, la maison créa la forme ovale du carneau avec le même arrangement de tubes (fig. 35). Cette forme augmenta encore le pouvoir de résistance de la chaudière, ce qui avait son importance en raison des pressions qui s'élevaient graduellement. La construction se simplifiait ensuite par l'application de chicanes immédiatement après les foyers.

En 1873, un perfectionnement plus important fut obtenu en donnant le même rayon à la courbe supérieure qu'à la courbe inférieure, de sorte qu'en plaçant les tubes convergents vers le centre, les collerettes du haut et du bas étaient perpendiculaires au rayon, et tous les tubes devenaient exactement semblables.

Cet arrangement permettait alors de faire les tubes mécaniquement et absolument de même gabarit, afin qu'on puisse les poser sans la moindre préparation. De plus, le fait que les petits bouts de tubes sont plus rapprochés les uns des autres que les grands, rend la chaudière plus robuste et lui permet de travailler sous une plus haute pression.

Aujourd'hui, malgré tous les efforts combinés pour introduire de nouveaux générateurs dans l'industrie, le type de chaudière cylindrique à foyer intérieur reste en bonne place. Le modèle Galloway est le seul conforme au type Lancashire, et la perfection actuelle de sa construction lui permet de résister à des pressions très élevées pendant un laps de temps considérable.

Toutes les opérations de chaudronnerie, poinçonnage, perçage, rivetage, etc... sont faites mécaniquement dans les ateliers de Manchester. La chaudière est obtenue en tôle d'acier de première qualité ; toutes les garnitures et la robinetterie sont faites dans les ateliers Knott Mill, sous la surveillance de la maison Galloway's, et une usine spéciale fabrique

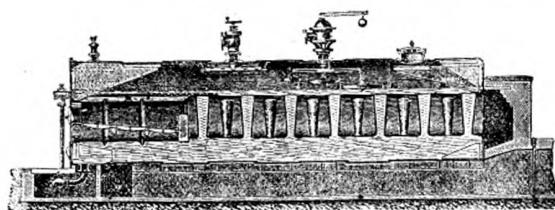


Fig. 36. — Chaudière Galloway (type normal).

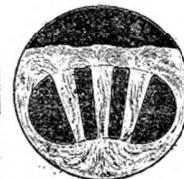


Fig. 37.

les tubes coniques, non seulement pour les chaudières Galloway, mais pour tous les générateurs à foyers intérieurs du continent.

La fabrication de ces tubes exige des soins particuliers. Ils sont construits en fer ou en acier, à la demande. Les tôles sont cintrées toutes chaudes à la forme voulue, soudées au marteau-pilon et arrondies soigneusement avant de passer à la machine à faire les collarlettes.

Cette machine comporte un dispositif hydraulique automatique pour tenir les tubes en position, tandis qu'un plateau tournant pourvu de cylindres force le bord des tôles à prendre la forme des collarlettes divisées.

Ce résultat est obtenu en une seule chaude et produit une collarette très solide, sans que l'épaisseur soit réduite, ce qui arriverait infailliblement avec l'ancienne méthode à coups de marteau à la main.

Pour les prises de vapeur, les diverses garnitures qui sont placées sur l'enveloppe sont d'abord rabotées sur leurs bases ; au lieu d'être boulonnées directement sur la chaudière, elles sont attachées à des prises de vapeur en fer forgé qui se rivent solidement sur la chaudière.

La fabrication de ces prises de vapeur et des trous d'homme en fer forgé est obtenue mécaniquement pour le cintrage, le soudage, le rabotage, etc... Les parties supérieures de ces tubulures de prises de vapeur sont également rabotées pour obtenir l'assemblage parfait des garnitures qu'elles reçoivent.

Durée de la chaudière. — Les inégalités de contraction et d'extension produites par une circulation imparfaite de l'eau, contribuent dans de grandes proportions à la destruction des chaudières. Dans le système Galloway, les tubes rendent la circulation parfaite et suppriment l'inconvénient précédent, en empêchant de plus la formation des dépôts calcaires.

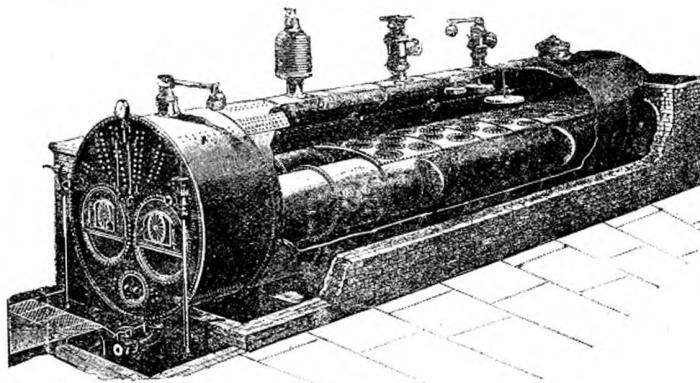


Fig. 38. — Chaudière Galloway à foyer intérieur.

En 1891, une chaudière Galloway a été remplacée aux usines Towgood après 30 ans de fonctionnement, par une autre du type actuel

uniquement dans le but de pouvoir obtenir une pression très élevée. Le carreau enlevé était en bon état, quoique d'un modèle bien ancien.

La chaudière Galloway, pour donner le maximum d'effet utile qu'on est en droit d'attendre du perfectionnement de sa construction, doit contenir nécessairement le nombre normal de tubes coniques.

Quelques constructeurs ayant la licence de la maison, ont cru devoir employer moins de tubes ; il en est résulté des générateurs d'un type moins parfait que ceux qui sont construits dans les ateliers de Manchester.

Chaudières Galloway avec foyer extérieur. — La chaudière du modèle ordinaire convient partout où la combustion ordinaire peut être appliquée ; mais, pour tenir compte de quelques circonstances spéciales, il a été créé des modèles s'appliquant à des industries particulières qui utilisent toute sorte de combustibles.

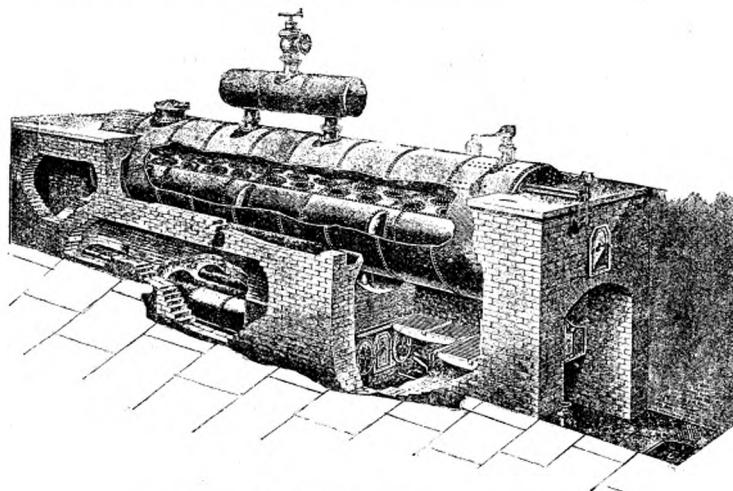


Fig. 33. — Chaudière Galloway avec foyer extérieur.

La gravure ci-contre représente un dispositif généralement préféré dans plusieurs parties de la Russie. Dans ce modèle, il n'y a plus de foyers intérieurs ; le carreau est allongé d'un bout à l'autre du corps cylindrique, le foyer est placé sous la partie avant de ce corps et les flammes, après avoir passé sous la chaudière, retournent par le carreau, contournent ensuite les tubes et s'engouffrent finalement dans la cheminée en longeant les deux côtés de la chaudière.

Dans la plupart de ces chaudières, on place dans le carneau de la maçonnerie, sous la chaudière, deux réservoirs cylindriques ou réchauffeurs.

L'un reçoit l'eau d'alimentation qui traverse ensuite le second avant d'entrer dans la chaudière.

Dans son passage à travers les réchauffeurs, l'eau est chauffée à un certain degré et la majeure partie des impuretés qu'elle contient est précipitée à l'état de boues.

Les foyers sont exécutés de toutes dimensions et disposés pour brûler du bois, de la sciure, de la bagasse et autres combustibles qui exigent plus de place que n'en donnerait le foyer intérieur.

Chaudière Galloway compound. — Cette chaudière est ainsi nommée parce qu'elle combine la chaudière Galloway avec une chaudière multitubulaire.

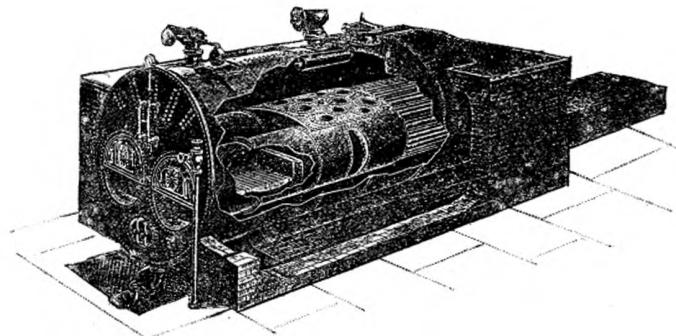


Fig. 40. — Chaudière Galloway compound.

A l'avant se trouvent les deux foyers intérieurs ordinaires, comme dans le type Lancashire, puis un petit bout du carneau Galloway avec une paire de chicanes et une plaque tubulaire à laquelle s'assemblent un certain nombre de tubes de locomotive qui se prolongent jusqu'à l'extrémité arrière du corps cylindrique.

Cette forme donne beaucoup de puissance, en proportion de sa longueur, la chaleur étant absorbée d'abord par les tubes Galloway, ensuite par les petits tubes horizontaux.

La première batterie de générateurs qui a été faite sur ce modèle se composait de dix chaudières de 5^m,50 sur 2^m,13. Elles contenaient chacune 9 tubes Galloway de dimensions ordinaires et 129 tubes de loco-

motives de 76 mm. de diamètre. Ces générateurs furent expédiés en Italie pour produire la vapeur nécessaire aux grosses pompes employées au drainage des marais de Ferrare.

La construction de ces chaudières est plus compliquée que celle des « Galloway » ordinaires, mais elles possèdent une très grande puissance de vaporisation et ne demandent pas un emplacement aussi important que les premières.

La maison Galloway's construit les chaudières du type ordinaire et du type « compound » suivant les indications contenues dans les deux tableaux de la page suivante.

L'examen de ces tableaux montre que la chaudière Galloway peut vaporiser facilement 30 kg. d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure. C'est le résultat de l'emploi de tubes coniques minces, posés directement dans la ligne de chauffe et permettant la transmission de la chaleur à l'eau avec le minimum de déperdition.

Chaudières à deux carreaux dite « Lancashire ». — La maison Galloway construit le type de chaudière à deux carreaux, dite « Lancashire », qui jouit encore d'une certaine réputation dans le monde industriel.

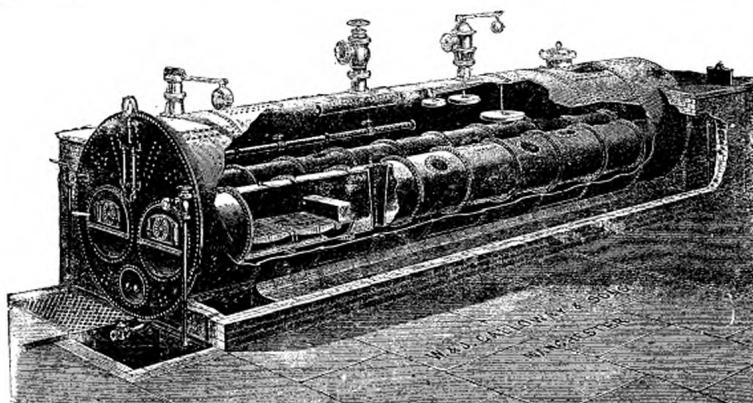


Fig. 41. — Chaudière à deux carreaux « Lancashire ».

C'est, incontestablement, une chaudière très simple et quand les tubes Galloway y sont introduits en nombre suffisant, elle produit même une excellente vaporisation.

Cette chaudière est construite dans les mêmes conditions que le type Galloway, avec un outillage mécanique de premier ordre.

Tableau de chaudières Galloway.

N°	Dimensions m.	Kilos d'eau vaporisés à l'heure	Force de chevaux indiqués à 9 kilos d'eau par heure	Diamètre des foyers	Longueur des foyers	Nombre de tubes coniques	Nombre de chicanes	Equivaut à chaudières à 2 carreaux	m.
1	4 267×1 676	954	105	0 648	1 727	9	2	28, 83	4 877×1 829
2	4 877× »	1 090	120	»	1 676	12	»	33, 87	5 487× »
3	5 487× »	1 227	135	»	1 880	14	4	38, 29	6 097× »
4	4 877×1 830	1 182	130	0 724	1 778	14	2	38, 29	5 487×1 981
5	5 487× »	1 364	150	»	1 931	15	4	42, 87	6 097× »
6	6 097× »	1 545	170	»	2 134	17	»	47, 82	6 707× »
7	6 707× »	1 727	190	»	2 235	20	»	53, 37	7 316× »
8	6 097×1 980	1 727	190	0 800	1 980	20	»	54, 26	7 316× »
9	6 707× »	1 909	210	»	2 134	21	»	59, 1	7 926× »
10	7 316× »	2 090	230	»	2 235	24	»	65, 11	7 926×2 134
11	7 926× »	2 272	250	»	2 235	27	»	71, 23	8 535× »
12	7 316×2 135	2 272	250	0 851	2 083	28	»	72, 01	8 535× »
13	7 926× »	2 500	275	»	2 286	30	»	77, 85	9 145× »
14	8 535× »	2 727	300	»	2 388	33	»	84, 14	9 145×2 286
15	9 145× »	2 954	325	»	2 591	35	»	89, 99	9 755× »
16	8 535×2 285	3 045	335	0 927	2 388	33	»	91, 4	9 145×2 439
17	9 145× »	3 272	360	»	2 591	35	»	97, 78	9 755× »
18	9 145×2 440	3 636	400	0 990	2 896	38	»	104, 00	9 755×2 590
19	9 755× »	3 954	435	»	3 100	40	6	110, 59	10 367× »
20	9 145×2 590	4 090	450	1 067	2 896	40	4	112, 59	10 670× »

Tableau de chaudières Galloway compound.

N°	Dimensions m.	Kilos d'eau vaporisée à l'heure	Force de chevaux indiqués à 9 kilos d'eau par heure	Diamètre des foyers	Longueur des foyers	Longueur du carreau Galloway	Nombre de tubes coniques	Nombre de tubes locomotives de 401 m/m.	Longueur des tubes locomotives	Surface de chauffe en mètres carrés
1	3 658×1 676	954	105	0 648	1 372	1 219	5	32	1, 067	29, 27
2	4 267× »	1 068	118	»	1 676	1 219	5	32	1, 372	34, 38
3	3 658×1 830	1 090	120	0 724	1 372	1 372	6	40	0, 914	35, 13
4	4 267× »	1 182	130	»	1 524	1 372	6	40	1, 372	40, 14
5	4 877× »	1 318	145	»	1 829	2 134	9	40	0, 914	42, 87
6	3 658×1 980	1 227	135	0 800	1 372	1 372	6	47	0, 914	41, 35
7	4 267× »	1 364	150	»	1 448	1 905	6	47	0, 914	47, 03
8	4 877× »	1 500	165	»	1 829	1 905	9	47	1, 143	51, 11
9	4 267×2 135	1 500	165	0 851	1 448	1 980	10	62	0, 838	50, 39
10	4 877× »	1 680	185	»	1 829	2 134	10	62	0, 914	57, 24
11	5 487× »	1 864	205	»	2 134	2 134	10	62	1, 219	63, 29
12	6 097× »	2 045	225	»	2 439	2 134	10	62	1, 524	71, 28
13	4 877×2 285	1 909	210	0 927	1 829	2 134	10	70	0, 914	65, 05
14	5 487× »	2 136	235	»	2 134	2 134	10	70	1, 219	70, 63
15	6 097× »	2 363	260	»	2 439	2 134	10	70	1, 524	78, 06
16	6 707× »	2 590	285	»	2 439	2 744	15	70	1, 524	86, 43

Chaudières compound Lancashire et multitubulaire. — De même que la chaudière Galloway, la chaudière Lancashire à deux carreaux se combine également avec un faisceau tubulaire pour former un type compound assez employé dans les colonies.

Dans ce cas, il y a deux chaudières séparées : une, courte, habituellement de $3^m,600 \times 2^m,100$, et l'autre, multitubulaire, de mêmes dimensions.

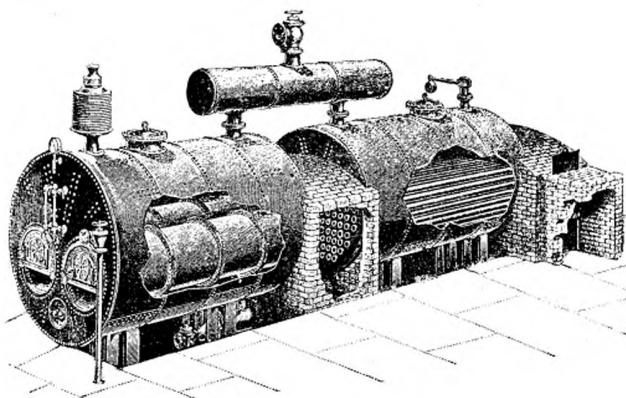


Fig. 42. — Chaudière compound Lancashire et multitubulaire.

Ces deux chaudières sont en communication, pour équilibrer le niveau d'eau, par un tuyau passant à la partie inférieure et par un réservoir supérieur formant collecteur de vapeur.

Entre les deux chaudières, il y a un compartiment, de $1^m,200$ de longueur, qui fonctionne comme chambre de combustion et d'où les gaz surchauffés passent à travers les tubes, pour se rendre ensuite à la cheminée.

La chaleur est totalement absorbée en arrivant au bout de la chaudière et il n'y a plus utilité à faire revenir les gaz sur les côtés.

Ce générateur, construit en deux pièces de faibles dimensions, est facilement transportable. Un certain nombre d'unités ont été fournies aux sucreries et autres usines coloniales où ils ont donné toute satisfaction.

Chaudières multitubulaires. — Enfin, la maison Galloway construit deux types de chaudières multitubulaires.

La première se compose d'une enveloppe cylindrique avec fonds plats, dont l'intérieur est garni d'un grand nombre de tubes de locomotives,

régant d'un bout à l'autre du corps cylindrique et ayant de 75 à 100 mm. de diamètre.

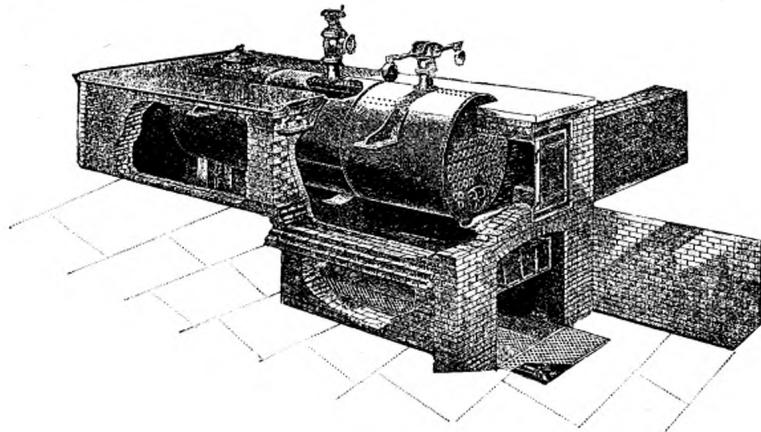


Fig. 43. — Chaudière Galloway multitubulaire.

Quelques-uns de ces tubes sont filetés aux extrémités et munis d'écrous, afin de servir de tirants entre les fonds.

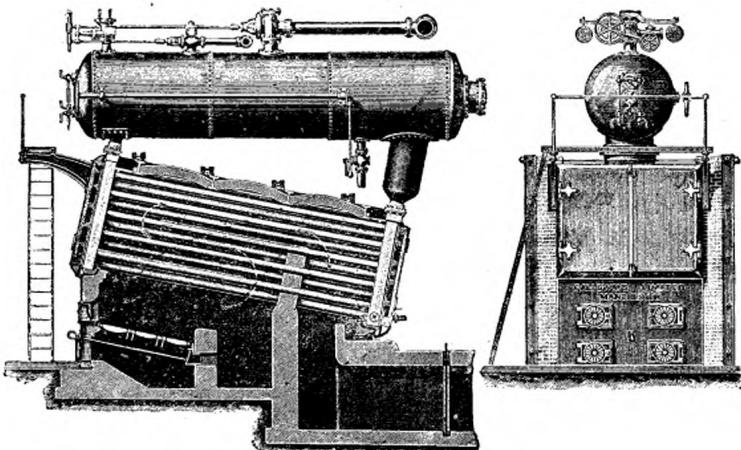


Fig. 44. — Chaudière Manchester.

Cette chaudière est chauffée généralement en dessous. Les flammes passent à l'arrière, reviennent par les tubes jusqu'à l'avant et les gaz s'échappent, le long des côtés, dans la cheminée.

En raison du peu de place qu'elle occupe, cette chaudière forme un puissant générateur de vapeur, les tubes donnant une grande surface

de chauffe ; mais, pour maintenir une bonne vaporisation, il est indispensable de nettoyer régulièrement les tubes ; autrement, la suie, intérieurement, et les dépôts calcaires, extérieurement, diminueraient beaucoup la production de vapeur.

La forme de cette chaudière peut encore être modifiée par l'introduction d'un ou de deux foyers, types Lancashire ; elle devient alors une autre chaudière compound.

La seconde chaudière multitubulaire, construite par la maison Gallo-way, est réservée aux hautes pressions : c'est la chaudière « Manchester ».

Ce générateur à tubes d'eau se compose d'un faisceau tubulaire, de deux chambres à eau avant et arrière et d'un réservoir, collecteur de vapeur, placé à la partie supérieure.

Les communications sont de large section, pour faciliter la circulation de l'eau, et le collecteur est combiné de façon à ce que l'on n'obtienne que de la vapeur absolument sèche.

Générateurs Mathot.

La société Mathot, de Rœux-les-Arras (Pas-de-Calais), présentait deux batteries de chaudières, l'une à l'usine La Bourdonnais, composée de quatre générateurs, l'autre à l'usine Suffren, composée de trois générateurs.

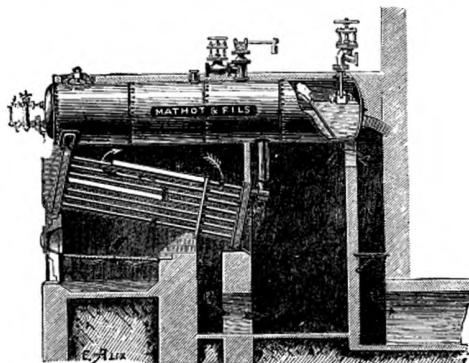


Fig. 45. — Générateur Mathot.

Les sept chaudières avaient été admises pour une production totale de 28 600 kg. de vapeur à l'heure. Leurs surfaces de chauffe étaient, respectivement, de 348 m², 168 m², 54 m², soit ensemble 1 782 m², de

sorte que la vaporisation moyenne, admise par mètre carré de surface de chauffe et par heure, atteignait 16 kg. d'eau.

Nous reproduisons, *Pl. 15* et *16*, les dessins d'un générateur du type Mathot et les installations des batteries Suffren et La Bourdonnais.

Description du générateur type. — Le générateur Mathot se compose essentiellement d'un faisceau tubulaire, incliné de 13 à 18° de l'avant vers l'arrière, et aboutissant à deux chambres d'eau ; la chambre antérieure est rivée à un réservoir cylindrique et la chambre postérieure n'est reliée à ce réservoir que par des communications flexibles, de façon à permettre, par son déplacement, tous les mouvements de dilatation et de contraction aux tubes bouilleurs.

La grille est placée sous le faisceau tubulaire de manière à donner à ce puissant appareil vaporisateur le maximum d'effet utile.

La longueur du corps cylindrique, l'adjonction d'un réchauffeur, le rapport entre la hauteur et la longueur du faisceau tubulaire, sont surlordonnés, non seulement à l'espace dont on dispose, mais surtout aux besoins spéciaux de chaque application.

Le périmètre des chambres d'eau est formé par un profilé en acier doux Martin-Siemens étiré en V, aux bords duquel viennent se river deux plaques épaisses en tôle, reliées par un grand nombre d'entretoises ou tirants filetés qui sont vissés et rivés dans les plaques.

Les tubes bouilleurs sont en acier doux Martin-Siemens. Ils sont essayés à 50 kg. et martelés sous cette pression.

La charge de rupture est d'ailleurs de 280 kg. par centimètre carré. Leurs extrémités sont solidement fixées dans les plaques intérieures des chambres d'eau par l'outil à mandriner Dudgeon pour sertir les tubes. Le renflement ménagé à l'un des bouts en rend le placement et la sortie très commodes et très rapides.

Les faces extérieures des chambres d'eau sont également percées, en face de chaque tube bouilleur, d'ouvertures circulaires fermées par des petits couvercles autoclaves en acier estampé, rendus étanches par un joint en caoutchouc.

Avantages du système. — L'appareil vaporisateur très développé au-dessus du foyer et présentant ses multiples surfaces au rayonnement du foyer et au contact des gaz, la circulation active de l'eau et le dégagement facile de la vapeur favorisant la transmission calorifique, tout concourt à obtenir une grande économie du combustible.

La stabilité de la pression, si nécessaire dans la plupart des applica-

tions industrielles, est assurée par la puissance de la surface de chauffe directe, permettant une évolution rapide, et par le grand volume d'eau en contact avec la vapeur constituant un volant calorique suffisant.

Le volume relativement considérable des caisses ou lames d'eau et l'allongement du corps cylindrique, quand besoin est, en augmentant encore l'accumulateur calorifique, développent cette précieuse faculté d'une pression constante en dépit des écarts considérables entre la production et la consommation de vapeur.

Sauf dans le cas de disposition spéciale de surchauffe, toutes les chaudières fournissent de la vapeur plus ou moins humide. Cette tendance est heureusement combattue dans le générateur Mathot en évacuant la vapeur à l'endroit de la production du faisceau tubulaire, en développant le plan d'eau autant que possible, et en accumulant le volume d'eau calme au contact du cube de vapeur.

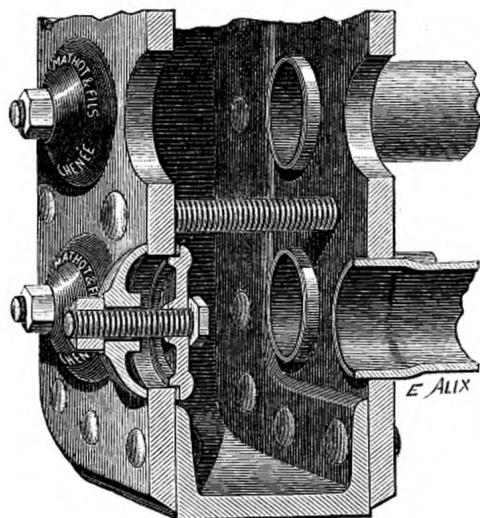


Fig. 46.

Le corps cylindrique est soumis à une température peu élevée, le métal ne supporte que des efforts de traction, les sels calcaires, par suite de l'emploi d'un dispositif spécial, sont précipités au moment de l'alimentation ou relégués par la circulation de l'eau vers les endroits les moins chauffés. Il en résulte une grande sécurité pour les parties volumineuses de l'appareil.

Quant au faisceau vaporisateur exposé à l'action énergique du foyer,

son sectionnement, sa dilatation assurée, son inclinaison provoquant une circulation rapide de l'eau, l'ampleur des communications permettant l'expulsion immédiate de la vapeur formée, écartent toute cause de danger.

Enfin, l'emploi de chambres à eau fortement entretoisées et de petits couvercles autoclaves en acier, complète un ensemble rustique qui rend le générateur très robuste et dépourvu d'accessoires encombrants.

Il convient de faire remarquer que les incrustations, conséquence naturelle de la vaporisation de l'eau, sont pernicieuses pour les chaudières, même pour les générateurs à circulation rapide, à cause des arrêts momentanés et journallement répétés. Les dépôts adhérents ou pulvérulents sont toujours très dangereux car les dépôts s'amassent sur les parties les plus surmenées et il est aisément de se rendre compte des effets produits par la surchauffe du métal sous pression. L'avantage reste donc aux dispositifs modernes à circulation rapide bien conçus, qui évacuent, dans la plus grande mesure, les dépôts engendrés par la vaporisation, pour les reléguer dans les parties peu ou point chauffées.

Comme préservatif de l'adhérence des incrustations, on fait usage, dans les générateurs Mathot, d'un goudron spécial, plastique jusqu'à une température de 313° et ne se carbonisant que vers 600° environ. Les parois intérieures des tubes et du corps de chaudière, enduites de ce produit, sont absolument réfractaires à l'adhérence des dépôts calcaires.

L'entretien, les réparations et les arrêts qu'elles entraînent, constituent des facteurs très importants dans l'appréciation de la valeur d'une chaudière. Aussi, dans le générateur Mathot, les parties internes, toutes aisément accessibles, ne nécessitent que des nettoyages espacés, grâce à l'accumulation des dépôts dans les endroits peu chauffés et à leur extraction journalière sous pression. Les parties externes sont débarrassées de la suie par l'action de la lance à vapeur. Les réparations se bornent toujours au remplacement d'un ou deux tubes, ce qui ne nécessite même pas le refroidissement complet du générateur et n'exige jamais plus de quelques heures de travail.

Les batteries de chaudières Mathot de l'Exposition étaient complétées par des réchauffeurs-détartreurs, système Chevalet, utilisant la vapeur d'échappement des pompes alimentaires et assurant à l'eau d'alimentation une température variant entre 70 et 100°.

Nous aurons l'occasion d'examiner ces appareils spéciaux dans un des chapitres suivants.

Générateurs Montupet.

M. Montupet, constructeur à Paris, présentait à l'usine La Bourdonnais six générateurs qui avaient été admis par le Comité technique pour une production totale de 10 000 kg. de vapeur à l'heure.

Ces générateurs étaient de trois types différents savoir :

1° Trois chaudières multitubulaires, type industriel, ayant chacune 135 m^2 de surface de chauffe et $3\text{m}^2,60$ de surface de grille, vaporisant par unité 2 000 kg. d'eau, de sorte que la vaporisation par mètre carré de surface de chauffe et par heure atteignait 15 kg. environ.

2° Deux chaudières, type marine, de 83 m^2 de surface de chauffe et $2\text{m}^2,88$ de surface de grille, chacune, vaporisant 1 700 kg. de vapeur par unité, soit par mètre carré de surface de chauffe et par heure $20^k,8$.

3° Une chaudière, type semi-tubulaire de $37\text{m}^2,50$ de surface de chauffe et $1\text{m}^2,100$ de surface de grille, pouvant vaporiser 950 kg. d'eau par heure, soit $25^k,3$ par mètre carré de surface de chauffe. Cette chaudière n'était admise que pour 600 kg. de vapeur.

CHAUDIÈRE MULTITUBULAIRE, TYPE INDUSTRIEL

La chaudière multitubulaire Montupet est basée sur l'emploi des tubes

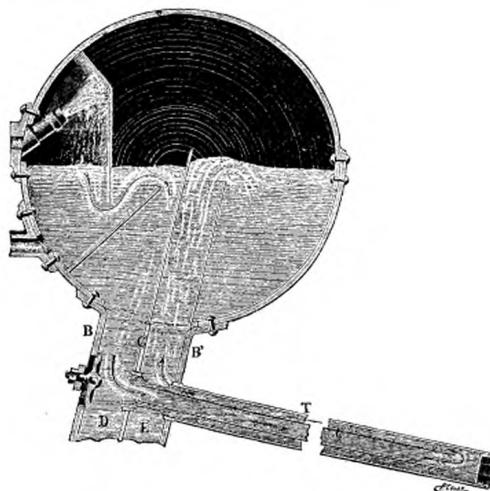


Fig. 47. — Chaudière Montupet.

Field. Elle se compose d'un faisceau tubulaire incliné de l'avant à l'arrière, d'un réservoir supérieur formant collecteur de vapeur et d'un

coffre en tôle reliant, à l'avant le faisceau tubulaire au réservoir (voir *Pl. 17*).

Le coffre B B' est divisé en deux compartiments D et E, séparés par une cloison C qui porte les tubes bouilleurs T, fixés dans la cloison et dans la plaque arrière du coffre en tôle. Entre les deux plaques, les tubes sont percés de trous sur leur pourtour, pour le dégagement de l'eau et de la vapeur dans le compartiment E.

A l'intérieur de chaque tube bouilleur, se trouve un tube de circulation *t*, fixé dans la cloison par un entonnoir, placé à l'extrémité avant, et dont l'extrémité arrière débouche à quelques centimètres de celle du tube bouilleur. Ce tube de circulation porte à l'extérieur des colliers qui le maintiennent concentrique dans le tube vaporisateur et l'obligent à suivre tous les mouvements de celui-ci.

Lorsque la chaudière est remplie d'eau jusqu'au niveau moyen du réservoir supérieur, si on fait du feu sous le faisceau tubulaire, l'eau qui se trouve comprise dans l'espace entre les deux tubes est chauffée ; elle s'élève entre ces tubes pour venir dans le compartiment E, puis dans le réservoir ; cette eau est remplacée par celle du compartiment D, qui descend par le tube intérieur de circulation *t*, par suite du vide relatif que produit le déplacement de l'eau chauffée.

Dès que la vapeur se forme dans le tube vaporisateur, elle augmente la vitesse de circulation de l'eau, par suite de sa faible densité par rapport à celle de l'eau et de son dégagement rapide dans le compartiment E.

La circulation ainsi créée est assez vive pour enlever les dépôts de boues et de sels calcaires qui se forment dans les conditions normales de fonctionnement.

Le courant descendant de l'eau et le courant ascendant de l'eau et de la vapeur mélangées sont toujours distincts ; ils ne peuvent se gêner dans aucun cas et ils deviennent d'autant plus rapides que le chauffage des tubes vaporisateurs est plus énergique ; de telle sorte que si l'on donne aux deux compartiments des sections suffisantes, comme il est possible de le faire avec des caissons en tôle, la vaporisation de la chaudière n'a pour limite que la quantité de charbon brûlé sur la grille. Avec le tirage forcé par un jet de vapeur, cette vaporisation peut dépasser 60 kg. par mètre carré de surface de chauffe sans aucune crainte pour les éléments vaporisateurs.

Afin d'augmenter la vitesse de circulation de l'eau, les orifices de dégagement de vapeur et d'eau sont prolongés jusqu'à la hauteur du ni-

veau le plus bas dans le réservoir, de manière à former des colonnes fluides de faible densité qui contribuent à rendre la vaporisation plus économique.

L'eau d'alimentation est injectée dans la vapeur contre une paroi métallique qui la divise en gouttelettes très fines avant de tomber dans le collecteur des boues et de se déverser dans le compartiment avant du caisson.

L'eau d'alimentation, ainsi pulvérisée, est portée instantanément à la température de la vapeur et tous les sels calcaires sont précipités : une extraction suffit pour les enlever.

Construction. — La plupart des avantages que présente la chaudière Montupet dérivent du mode de construction des tubes.

Les tubes bouilleurs sont fixés en deux points de leur extrémité avant, dans la cloison C et dans la plaque arrière du coffre ; ils possèdent la plus grande rigidité, ils restent à l'abri de tous les chocs, même les plus violents, et peuvent se dilater librement quelles que soient les variations de la chauffe. Celle-ci peut passer d'une combustion de 75 kg. de charbon par mètre carré de grille, à 300 kg. et plus, ou inversement, sans que les joints des tubes occasionnent des fuites.

Les tubes sont mis en place par des trous percés dans la plaque avant du coffre ; suivant les cas, ces trous sont fermés par des tampons autoclaves ou par des bouchons vissés. Leur diamètre varie avec la puissance et la destination des chaudières ; leur extrémité avant porte des bagues soudées ou des parties dilatées qui font joints dans les deux plaques de fixation, dont les trous sont fraisés coniques.

Les extrémités arrière sont fermées par des bouchons vissés, de sorte qu'il est facile de visiter les tubes en place et de les nettoyer en démontant les tampons avant placés en face des tubes et en dévissant les bouchons arrière, opération qui ne présente aucune difficulté en enduisant les filets avec une graisse spéciale à base de graphite, indestructible au feu, qui empêche toute oxydation,

Pour sortir les tubes bouilleurs, on enlève les tampons ou bouchons avant, les bouchons arrière et les tubes de circulation comme pour les nettoyer, puis on les retire ou on les fait sortir des trous avec un tirant taraudé, analogue à ceux qu'on emploie pour sortir les tubes Berendorf.

Ces tubes présentent donc une grande solidité et assurent une facilité de montage appréciable ; ils sont maintenus en place par la pression intérieure et ne présentent jamais de fuites. Leur disposition en quin-

conce, de manière à être léchés et entourés par les gaz chauds, assure la meilleure utilisation possible de la chaleur.

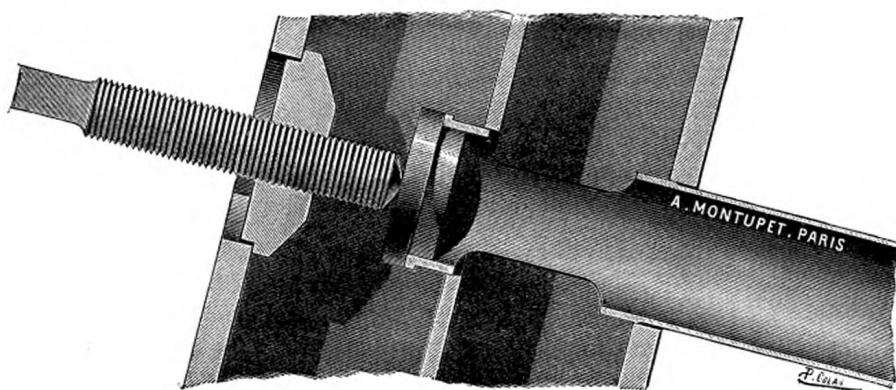


Fig. 48.

Les coffres à compartiments sont construits en tôles de fer, forgées à la presse hydraulique, rivées et entretoisées comme les côtés des foyers de locomotives, de façon à avoir une appréciation exacte sur les conditions de résistance et de travail des différentes parties qui les composent. Ils sont rivés sur le réservoir supérieur, pour éviter les joints, et ils laissent de larges passages à l'eau et à la vapeur.

Les ouvertures des tampons autoclaves sont faites en pleine tôle, par le perçage de trois trous, ce qui donne toute facilité pour mettre les tampons en place, pour les démonter ou pour retirer les tubes.

Les tôles employées dans la construction sont d'excellente qualité, en raison du travail de forge qu'elles doivent subir; les tubes, en acier extra-doux, soudés à recouvrement, sont essayés à la pression de 50 kg. et martelés sous cette pression sur toute leur longueur avant l'emploi.

Tous les tampons et tous les tubes sont interchangeables.

La chaudière est supportée par une ossature métallique, de façon à rester indépendante du fourneau en briques.

Les gaz chauds sont maintenus le plus longtemps possible en contact avec les tubes bouilleurs, par des chicanes qui ne les laissent échapper dans la cheminée qu'à une température peu élevée.

La grille suit sensiblement l'inclinaison des tubes inférieurs du faisceau, dont elle est très écartée afin d'obtenir une chambre de combustion suffisamment grande pour assurer le mélange des gaz et la bonne utilisation du combustible.

Les portes des foyers, à fermeture automatique, sont équilibrées ; elles s'ouvrent à l'intérieur en tournant autour d'axes placés à la partie supérieure et empêchent, en cas de rupture d'un tube, toute sortie de vapeur et toute projection de charbon, pendant la marche ou pendant les périodes de chargement du foyer.

Il en est de même pour les portes des cendriers.

Les façades de chaudières, en fonte et tôles de fer, sont fixées après les montants en fer supportant le générateur, ce qui rend celui-ci tout à fait indépendant.

Les fourneaux en briques sont munis de portes de visite sur les côtés ou à la partie supérieure, pour enlever, au moyen de la lance à vapeur tous les dépôts de suies ou de poussières restant sur les tubes.

Nettoyage. — Les parties intérieures et extérieures de la chaudière étant bien accessibles, il devient facile de la maintenir constamment en bon état de propreté.

Le nettoyage extérieur des tubes se fait à la lance à vapeur, que l'on peut passer dans tout le faisceau par les orifices ménagés sur les côtés ou sur la façade.

Le nettoyage intérieur comprend celui du réservoir supérieur et du coffre en tôle, qui est assuré par les extractions journalières, et celui des tubes.

On nettoie les tubes vaporiseurs en place, sans qu'il soit nécessaire de les démonter, enlevant, dans la face avant, les tampons autoclaves placés en face de chacun d'eux, en dévissant les bouchons arrière qui ferment les extrémités libres, puis en retirant les tubes intérieurs de circulation afin de pouvoir passer une brosse métallique à l'intérieur des tubes et les laver. Les tubes de circulation sont lavés à grande eau en dedans et en dehors et passés ensuite à la brosse métallique.

Ces nettoyages se font rapidement ; quelques minutes suffisent pour démonter et remonter un tube et il n'est pas nécessaire de nettoyer tous les tubes à chaque arrêt de la chaudière ; il suffit de visiter quelques tubes en bas du faisceau, un ou deux par rangée, pour se rendre compte de ceux qui contiennent les boues, puis d'opérer le nettoyage des tubes aux rangées correspondantes.

Entretien. — L'entretien d'une chaudière comprend la réfection et le remplacement des joints des différentes parties et ceux des pièces qui peuvent manquer. Dans la chaudière Montupet, tous les joints sont métalliques ; ceux des tampons autoclaves sont en amiante et caout-

chouc et peuvent servir plusieurs fois. Tous ces joints sont assurés par la pression intérieure qui empêche les fuites de se produire.

Les seules pièces qui peuvent manquer sont les tubes recevant toute l'action du feu ; mais il n'en résulte aucun danger par suite de la circulation rapide de l'eau qui se fait à l'intérieur, et qui répartit également l'action du feu dans tout le métal.

Le mode d'établissement des tubes assure le bon fonctionnement, même quand ces tubes ont été cintrés à la suite d'un chauffage sans eau.

L'entretien se trouve donc limité au remplacement éventuel de quelques joints.

Réparations. — En marche normale, avec des extractions journalières et des nettoyages dépendant de la nature des eaux d'alimentation, la chaudière Montupet ne nécessite aucune réparation.

Les tubes garantissent le réservoir supérieur et le coffre en tôle qui les porte contre le feu du foyer et, seuls, en supportent l'action.

La circulation intérieure assurant la transmission régulière des calories développées par le foyer à l'eau de la chaudière, évite la surchauffe du métal en supprimant les poches de vapeur. Les tubes pouvant se dilater librement, ils se trouvent dans des conditions de durée exceptionnelle.

Lorsqu'un manque d'eau vient à se produire par suite d'une négligence ou de l'arrêt de l'appareil alimentaire, ce sont les tubes supérieurs du faisceau tubulaire qui sont dégarnis d'eau les premiers et comme ils sont les plus éloignés du feu, il n'y a de ce fait aucun accident à craindre.

Les réparations de la chaudière ne peuvent donc provenir que d'une faute lourde ; dans ce cas, elles sont réduites au minimum par suite des facilités de démontage et de remontage des tubes.

Durée. — Dans la chaudière Montupet, les tubes sont maintenus en place par la pression intérieure qui tend à les enfoncer dans la cloison et la plaque où ils sont fixés ; on peut donner des cônes plus prononcés aux bagues et aux trous et avoir des différences plus grandes entre les diamètres des trous. On obtient de cette manière une facilité plus grande de démontage, et comme la cloison dans laquelle les extrémités avant des tubes sont joints se trouve dans un milieu d'eau en pression, les rayures qui pourraient se produire, après les démontages répétés, ne gênent en rien et n'occasionnent aucune fuite extérieure.

Un tube qui a été démonté ne peut donc pas, au remontage, s'enfoncer un peu plus que la première fois par suite de la compression du métal, et nécessiter un remplacement après quelques démontages. Tous les tubes sont facilement recalibrés et remis aux diamètres primitifs de pose, de sorte qu'ils peuvent servir indéfiniment. De plus, ils sont construits en laissant libre toute leur section d'entrée et on place, à l'extérieur des tubes intérieurs, des petites ailettes longitudinales qui maintiennent ceux-ci concentriques aux tubes bouilleurs. Quand ces derniers se cintrent, après un chauffage anormal sans eau ou pour toute autre cause, les tubes intérieurs suivent le même mouvement ; la circulation de l'eau est toujours assurée, puisqu'il ne peut y avoir contact entre les deux tubes, et les bouilleurs ne peuvent pas être brûlés. Des tubes bouilleurs de 60 mm. de diamètre et 2^m,500 de longueur, présentant une flèche de 110 mm. à la suite d'un chauffage sans eau, ont fonctionné pendant plus d'un an et demi, sans présenter de traces de détériorations.

Ce dispositif spécial évite donc des réparations, en cas de négligence du chauffeur, et contribue à augmenter notablement la durée de la chaudière.

Variantes du type industriel. — Les dimensions et les proportions des chaudières du type industriel sont déterminées par le fonctionnement le plus économique pour les applications auxquelles elles sont destinées.

Il n'est guère possible de donner satisfaction à tous les besoins et à toutes les industries avec un seul type de chaudière et de faisceau tubulaire. M. Montupet a donc créé trois variantes de chaudière, différent entre elles par les diamètres des tubes, les dimensions des réservoirs d'eau et de vapeur, afin de donner satisfaction aux industriels et de répondre aux prescriptions des lois et décrets en vigueur.

Les tubes ont 60, 80 ou 100 mm. de diamètre, suivant leur destination et chaque type est construit avec des tubes courts ou avec des tubes longs à retour de flammes, suivant les conditions imposées et l'emplacement disponible.

Les tubes courts ne permettent pas le retour de flammes ; les gaz sont épuisés en mettant un plus grand nombre de tubes en hauteur, et en régularisant, par des chicanes, le passage des gaz chauds dans le faisceau tubulaire.

Lorsque les appareils à alimenter de vapeur ont une consommation

irrégulière, comme dans les distilleries, sucreries, forges, etc., on établit les chaudières avec tubes de 100 mm., à retour de flammes, qui permettent de placer le réservoir d'eau et de vapeur longitudinalement, de lui donner une plus grande longueur et, par suite, une très grande capacité. On obtient alors un volant calorifique suffisant pour parer aux plus larges consommations de vapeur.

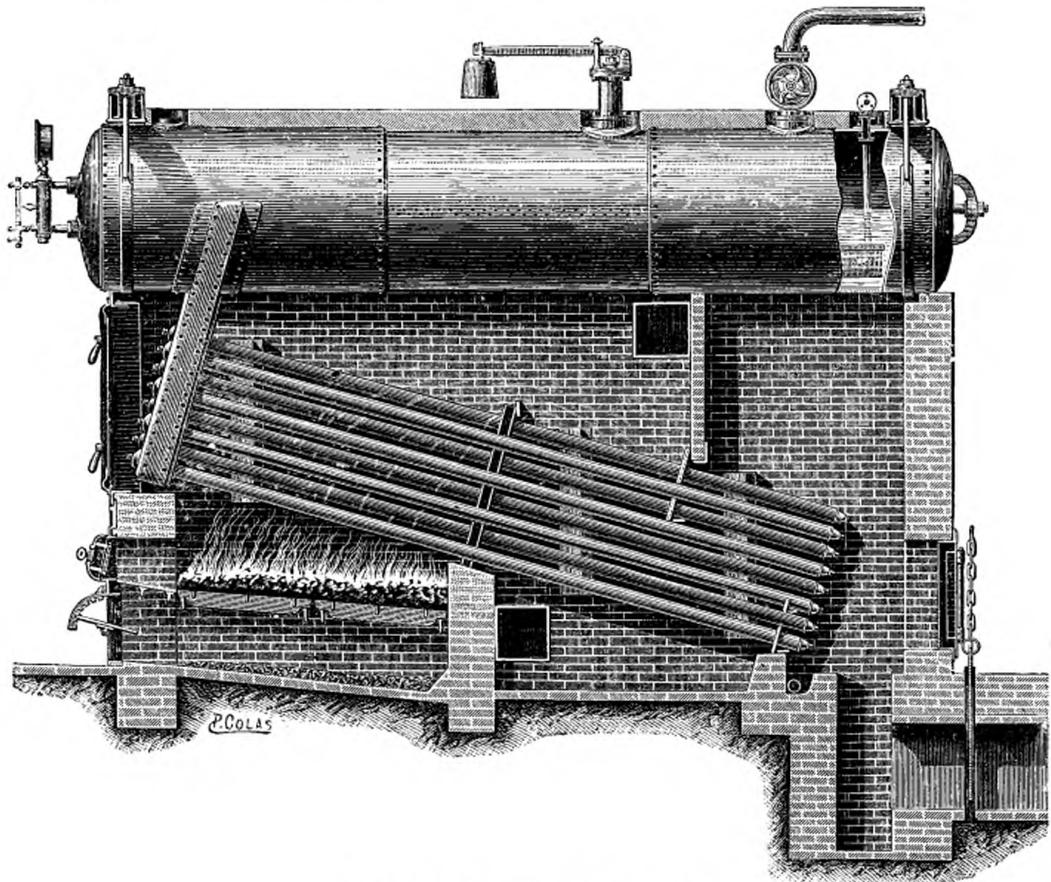


Fig. 49. — Type industriel, variante N° 4.

Ces chaudières (variante n° 1), sont à trois parcours de flammes, avec réservoirs chauffés à leur partie inférieure ; l'eau qui circule dans les tubes s'élevant de bas en haut, en sens contraire des gaz chauds, on obtient un chauffage méthodique qui donne la meilleure utilisation du combustible en ne laissant échapper les gaz qu'à la plus basse température.

Ces chaudières fournissent de 500 à 3 600 kg. de vapeur à l'heure.

Lorsque la vapeur est destinée à des appareils dont la consommation est régulière, comme les machines à vapeur, et que l'emplacement n'est pas limité, l'emploi du type n° 1 est encore recommandable, en raison de la grande stabilité de marche qu'il assure.

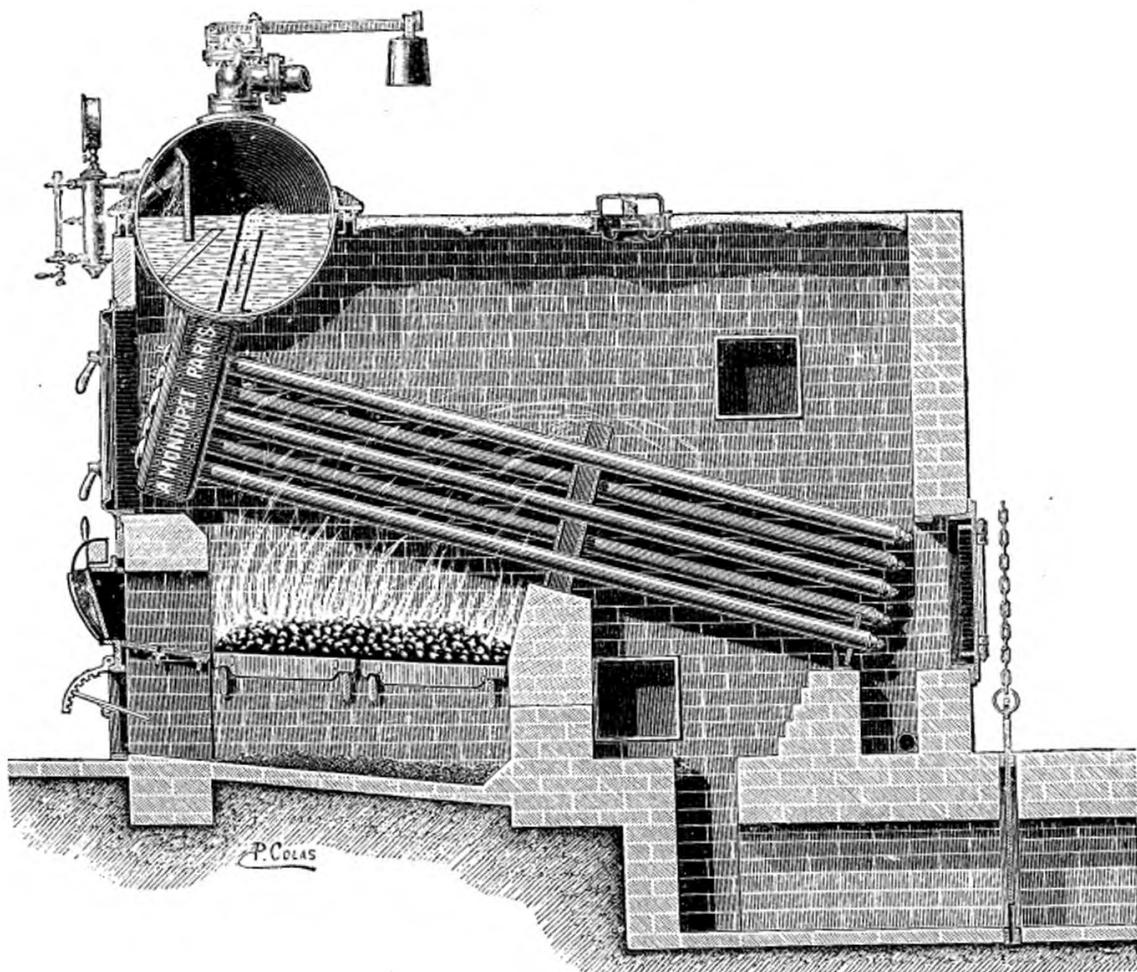


Fig. 50. — Type industriel, variante N° 2.

Si l'emplacement est limité, on a recours aux variantes n°s 2 et 3, avec des tubes de 80 mm. à deux ou un seul parcours de flammes, en ménageant les portes de nettoyage à la demande.

Le réservoir d'eau et de vapeur peut être placé longitudinalement, ou transversalement. Suivant la nature des eaux, l'alimentation se fait dans un décanteur ou en employant le dispositif de pulvérisation dont nous avons parlé.

Ces chaudières produisent de 200 à 3 000 kg. de vapeur à l'heure.

Lorsque les générateurs doivent être placés dans des ateliers ou des

maisons habitées, pour des installations de chauffage, de ventilation, d'éclairage électrique etc..., on emploie les chaudières avec tubes de 60 mm., à deux ou un seul parcours de gaz, avec le réservoir transversal de la variante n° 2.

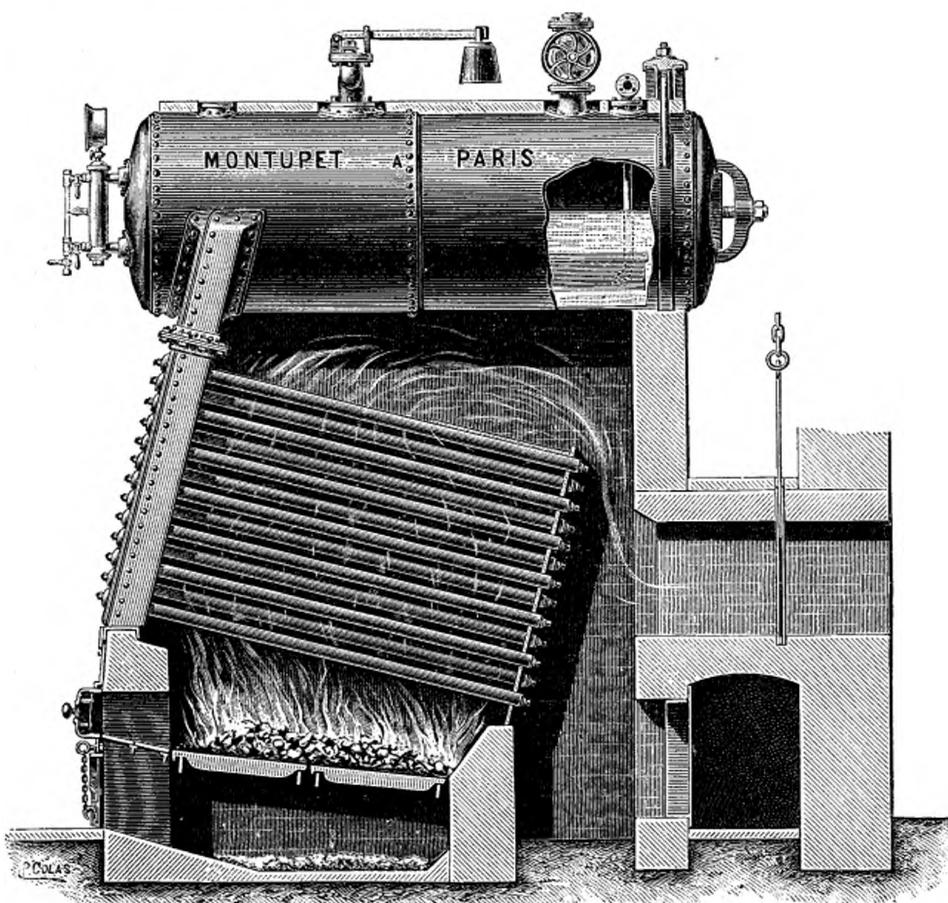


Fig. 51. — Type industriel, variante N° 3.

On obtient ainsi tous les avantages des types à grandes dimensions, avec une production de vapeur atteignant 1 000 kg. à l'heure, pour le type n° 3 et 2 000 kg , pour le type n° 2.

Enfin les foyers de toutes ces chaudières peuvent être disposés pour brûler tous les combustibles: houille, coke, bois, pétrole, paille, tannée, bagasse, etc.

Pour l'exportation, M. Montupet construit des chaudières démontables dont les pièces distinctes ont un poids maximum déterminé.

CHAUDIÈRE MONTUPET, TYPE MARINE.

La chaudière marine système Montupet ne diffère pas sensiblement de la chaudière du type industriel. On retrouve dans sa composition le réservoir supérieur d'eau et de vapeur, le coffre en tôle à deux compartiments et le faisceau de tubes vaporisateurs, genre Field. (Voir Pl. 18).

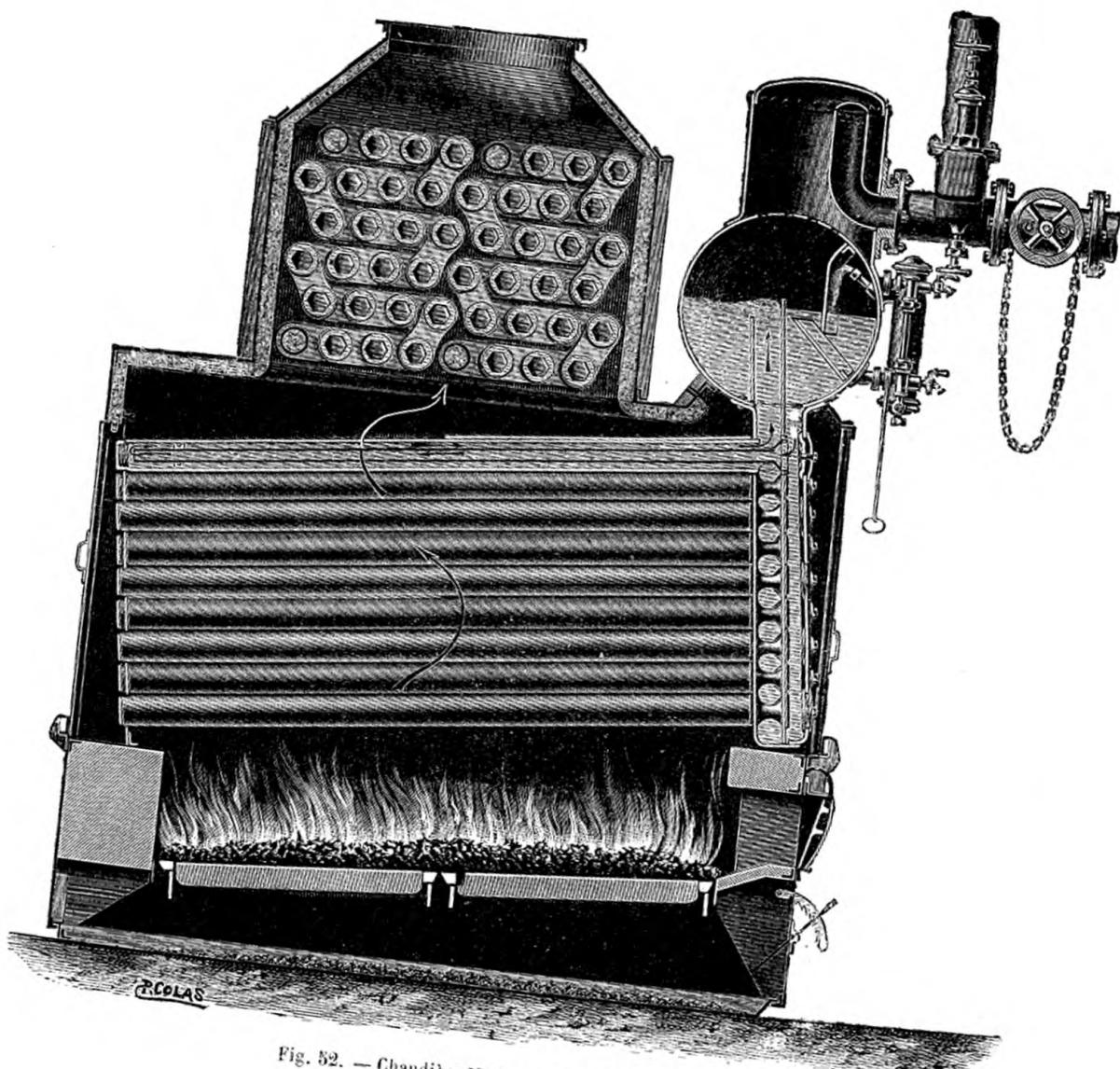


Fig. 52. — Chaudière Montupet, type Marine.

Tous ces organes sont seulement plus ramassés, en raison du peu d'emplacement dont on dispose à bord, et la chaudière est construite de façon à répondre aux conditions particulières de son emploi. Dans la marine, les générateurs sont soumis à des vaporisations excessives, inconnues dans l'industrie, et il n'est pas possible d'avoir, pour les réparations et l'entretien, toutes les facilités qu'on trouve dans les ateliers.

Il faut donc que la construction présente toute garantie au point de vue de la sécurité et qu'on puisse toujours assurer la continuité du service avec quelques pièces de rechange et avec les outils du bord.

La chaudière marine Montupet répond à toutes ces conditions. Nous avons exposé précédemment les différentes particularités que présente son fonctionnement et les moyens qui sont employés pour obtenir une circulation très vive de l'eau et de la vapeur mélangée à l'eau, nous avons dit que la vaporisation n'avait pour limite que la quantité de charbon brûlé sur la grille ; cette élasticité dans la production de la vapeur est une qualité précieuse pour la marine.

Avec le tirage forcé par un jet de vapeur dans la cheminée ou par un ventilateur, la vaporisation peut dépasser 60 kg. par mètre carré de surface de chauffe, sans aucun danger pour les éléments vaporisateurs.

Le mode de fixation des tubes bouilleurs, dont la dilatation se fait librement, quelles que soient les variations de la chauffe, permet de passer d'une combustion de 75 kg. par mètre carré de grille et par heure à une combustion de 300 kg. de charbon, sans aucune crainte de fuites aux joints des tubes.

Le montage et le démontage des tubes de 80 mm., par les trous fermés, suivant le cas, au moyen de tampons autoclaves ou de bouchons vissés, sont extrêmement faciles et rapides.

De même, la visite et le nettoyage se font aisément en démontant les tampons avant, placés en face des tubes, et en dévissant les bouchons après avoir enduit les filets d'une graisse spéciale, à base de graphite, indestructible au feu, qui empêche toute oxydation.

Pour l'entretien, les nettoyages et la durée de ces chaudières, ils sont assurés de la même façon que dans le type industriel. Les tubes qui ont été démontés sont remis à neuf et recalibrés, au moyen d'un outillage spécial, excessivement simple, qui doit se trouver à bord.

Cet outillage comprend une pièce en acier, trempée et rectifiée A,

qui porte un trou ayant les cônes rigoureux de ceux de la cloison et de la plaque arrière, et qui est fixée sur un support en fer mobile.

Chaque tube à calibrer est placé dans la pièce A, en appliquant le bourrelet contre cette pièce ; on agrandit ensuite légèrement les deux bagues, avec un outil à mandriner, jusqu'à ce qu'elles viennent s'appliquer contre les parois intérieures du trou.

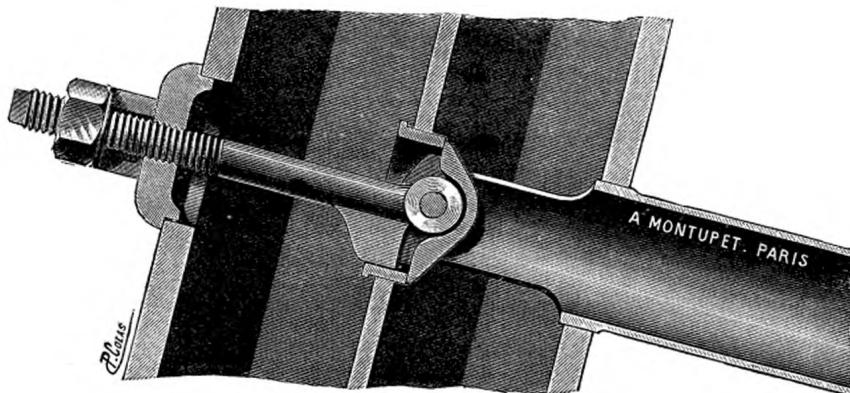


Fig. 53.

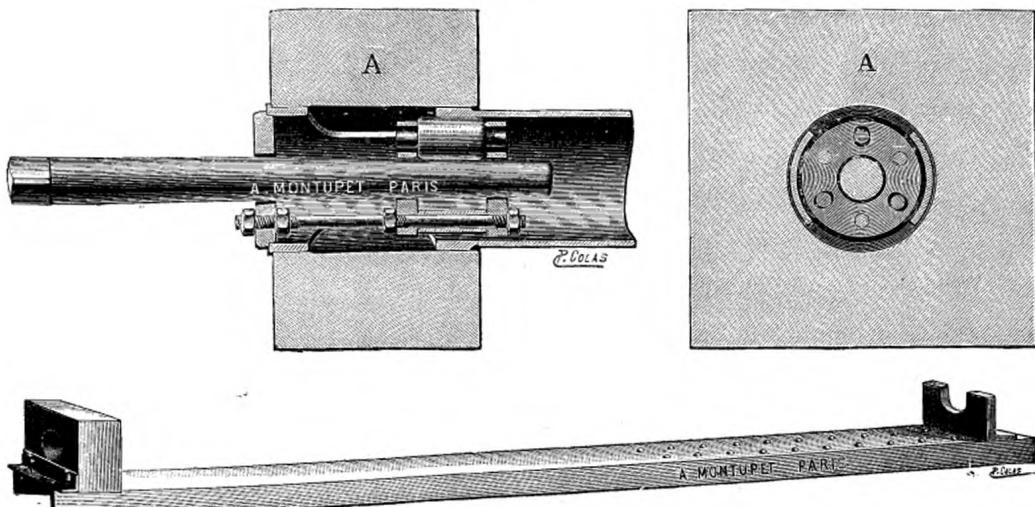


Fig. 54.

Cette pièce étant en acier trempé, afin que son diamètre ne puisse pas s'agrandir, toutes les bagues des tubes qui viennent s'appliquer contre les parois du trou ont toujours les mêmes cônes, rigoureusement.

Les tubes neufs sont calibrés avec cet outil qui assure, à bord, le réemploi de tous les tubes.

CHAUDIÈRE SEMI-TUBULAIRE, SYSTÈME MONTUPET

Le troisième type de générateur installé à l'usine La Bourdonnais par M. Montupet était une chaudière semi-tubulaire, de faible puissance, munie d'un dispositif spécial pour augmenter la vitesse de circulation de la masse d'eau.

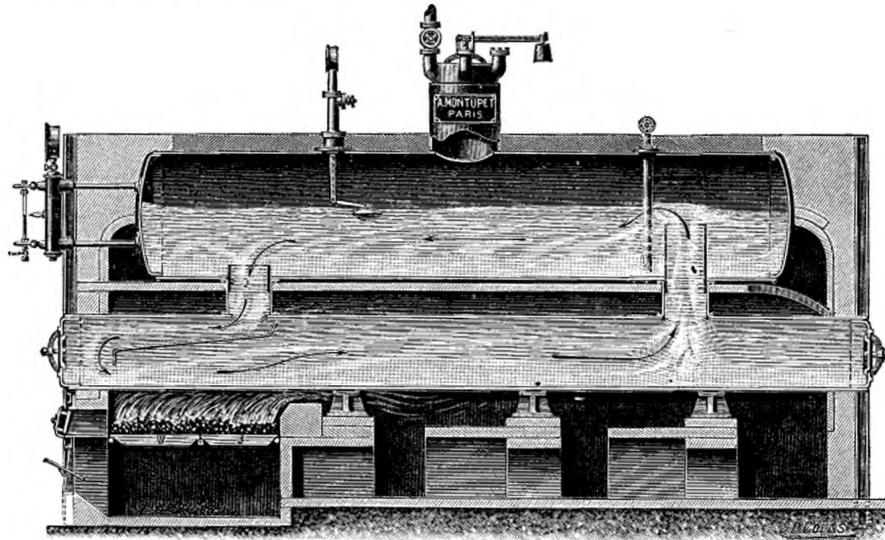


Fig. 55.

Depuis quelque temps, M. Montupet cherchait à obtenir une meilleure utilisation des chaudières semi-tubulaires, qui présentent déjà de grandes facilités de nettoyages et de visites, en supprimant la localisation des dépôts calcaires au-dessus du foyer, qui occasionne souvent des coups de feu. Ces dépôts sont dus aux circulations résultant du dégagement de la vapeur par la communication placée à l'avant de la chaudière.

Le dispositif imaginé par M. Montupet utilise le dégagement de la

vapeur pour créer dans les chaudières des circulations tellement vives, que les dépôts calcaires restent à l'état de boues en suspension et ne peuvent se déposer sur les parois chauffées que pendant les arrêts, alors que le chauffage est insuffisant pour les faire durcir et adhérer sur les tôles.

Dans la chaudière ordinaire à bouilleurs, par exemple, l'appareil oblige toute la vapeur produite dans les bouilleurs à se dégager par les communications arrière, qui sont prolongées jusqu'au niveau minimum de l'eau dans la chaudière. Dès le début du chauffage, l'eau chaude de chaque bouilleur de déplace pour s'élever par la communication arrière et elle est remplacée par celle qui descend par la communication d'avant.

Aussitôt que la vaporisation commence, les bulles de vapeur sont entraînées par l'eau en mouvement, dès leur formation, et elles sont remplacées d'une manière continue par d'autres qui les suivent dans le courant d'eau, tant que le métal est suffisamment chauffé.

L'eau mouille ainsi constamment les parois chauffées, tout en entraînant les bulles de vapeur produites, de sorte qu'il y a une transmission beaucoup plus rapide et meilleure de la chaleur du foyer à l'eau à vaporiser, sans aucune surchauffe du métal ou de la vapeur, puisque la production des bulles varie avec la chaleur du foyer.

Les bulles de vapeur produites dans ces conditions se mélangent intimement à l'eau, au fur et à mesure de leur formation, et on obtient un fluide dont la densité est sensiblement inférieure à celle de l'eau de la chaudière ; ce fluide se meut d'autant plus rapidement que sa densité est plus faible ; il y a donc plus de bulles de vapeur en suspension et la vaporisation est plus grande.

En faisant dégager ce fluide dans une colonne venant déboucher au niveau minimum de la chaudière, on provoque une dépression relativement importante, qui entraîne le déplacement d'un volume d'eau considérable. La vitesse de dégagement est donnée par la formule $V = \sqrt{2gh}$, c'est-à-dire qu'elle est proportionnelle à la racine carrée de la hauteur ; il y a donc un intérêt considérable à donner la plus grande hauteur possible à la colonne de dégagement, afin d'obtenir le maximum de vitesse de l'eau, pour la faire passer un plus grand nombre de fois au contact des parois chauffées.

Les dispositions adoptées donnent à l'eau une vitesse si grande, que toute la masse contenue dans la chaudière passe de 100 à 120 fois par heure dans chaque bouilleur. On peut d'ailleurs le calculer aisément.

Supposons que la chaudière ait les caractéristiques suivantes :

Corps de chaudière	D = 1 ^m ,300
Bouilleurs	D = 0 ^m ,700
id.	L = 5 ^m ,000
Communications	D = 0 ^m ,350
id.	L = 0 ^m ,400
Surface de chauffe de chaque bouilleur	11 m ²
Vaporisation par m ² de surface de chauffe	25 kg.
Timbre	7 kg.

La vaporisation par seconde sera, pour chaque bouilleur :

$$\frac{11 \times 25}{3\,600} = 0^k,0764$$

Ce qui correspond à un volume de :

$$\frac{0,0764}{3,97} = 0^{m^3},01925.$$

La colonne ascensionnelle qui se dégage par la communication, ayant 0^m,350 de diamètre et 1^m,30 de hauteur a un volume de :

$$3,1416 \times \frac{\overline{0,35}^2}{4} \times 1,30 = 0,125.$$

La densité de l'eau à 170° correspondant à la pression de 7 kg. étant de 931, le poids de cette colonne atteint :

$$931 \times 0,125 = 116^k,375$$

La colonne d'eau et de vapeur comprendra :

$$0,125 - 0,01925 = 0,10575 \text{ d'eau}$$

son poids total sera :

$$(0,10575 \times 931) + 0,0764 \text{ (vapeur)} = 98^k,529.$$

La hauteur de la colonne de 116 kg. étant de 1^m,30, celle de la colonne de 98^k,529 sera :

$$\frac{1,30 \times 98,5}{116} = 1^m,10$$

Ce qui donne une hauteur de charge, ou une dépression de :

$$1,30 - 1,10 = 0^m,20$$

La vitesse correspondante :

$$v = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,2} = 1^m,981$$

Le volume d'eau et de vapeur qui passera, par heure, dans la communication sera de :

$$3,1416 \times \frac{0,35^2}{4} \times 1,981 \times 3\,600 = 684 \text{ m}^3.$$

Il comprendra 615 m³ d'eau.

Le volume d'eau de la chaudière, environ 6^{m3},830, passera donc 88 fois par heure dans chaque bouilleur.

Les derniers perfectionnements apportés par M. Montupet aux dispositifs de circulation, datent de 1899, et la chaudière semi-tubulaire de l'usine La Bourdonnais constituait à cet égard un appareil de démonstration.

Les caractéristiques de cette chaudière (voir *Pl. 18*) sont les suivantes :

Corps de chaudière	$\left\{ \begin{array}{l} D = 1,100 \\ L = 2,900 \end{array} \right.$
Tubes	$\left\{ \begin{array}{l} d = 0,100 \\ L = 2,900 \end{array} \right.$
Bouilleurs	$\left\{ \begin{array}{l} D_1 = 0,600 \\ l = 4,450 \end{array} \right.$
Communications	$\left\{ \begin{array}{l} D_2 = 0,300 \\ l_2 = 0,480 \end{array} \right.$
Surface de chauffe	37 ^{m2} ,50
Surface de grille	1 ^{m2} ,100
Section des tubes	0 ^{m2} ,138
Hauteur de la colonne ascensionnelle	1 ^m ,300

La colonne ascensionnelle montait jusqu'au niveau moyen.

Cette chaudière était établie pour vaporiser 930 kg. d'eau à l'heure ce qui correspondait à une dépression de 0,482 dans la colonne ascensionnelle et à une vitesse de 0^m,467 dans les bouilleurs, faisant passer l'eau de la chaudière 80 fois par heure dans chaque bouilleur.

Les essais qui ont été effectués sur cette chaudière ont montré que ces prévisions étaient exactes; la vaporisation normale était bien de 930 kg. soit 26 kg. par mètre carré de surface de chauffe, avec une production de 7^k,500 par kilogramme de tout-venant brut, qualité ordinaire.

La vaporisation a été portée à 1 460 kg. à l'heure, dans de bonnes conditions de marche et, en poussant les feux, on a atteint 2 000 kg. mais les mouvements du fourneau en maçonnerie ont empêché de maintenir cette vaporisation.

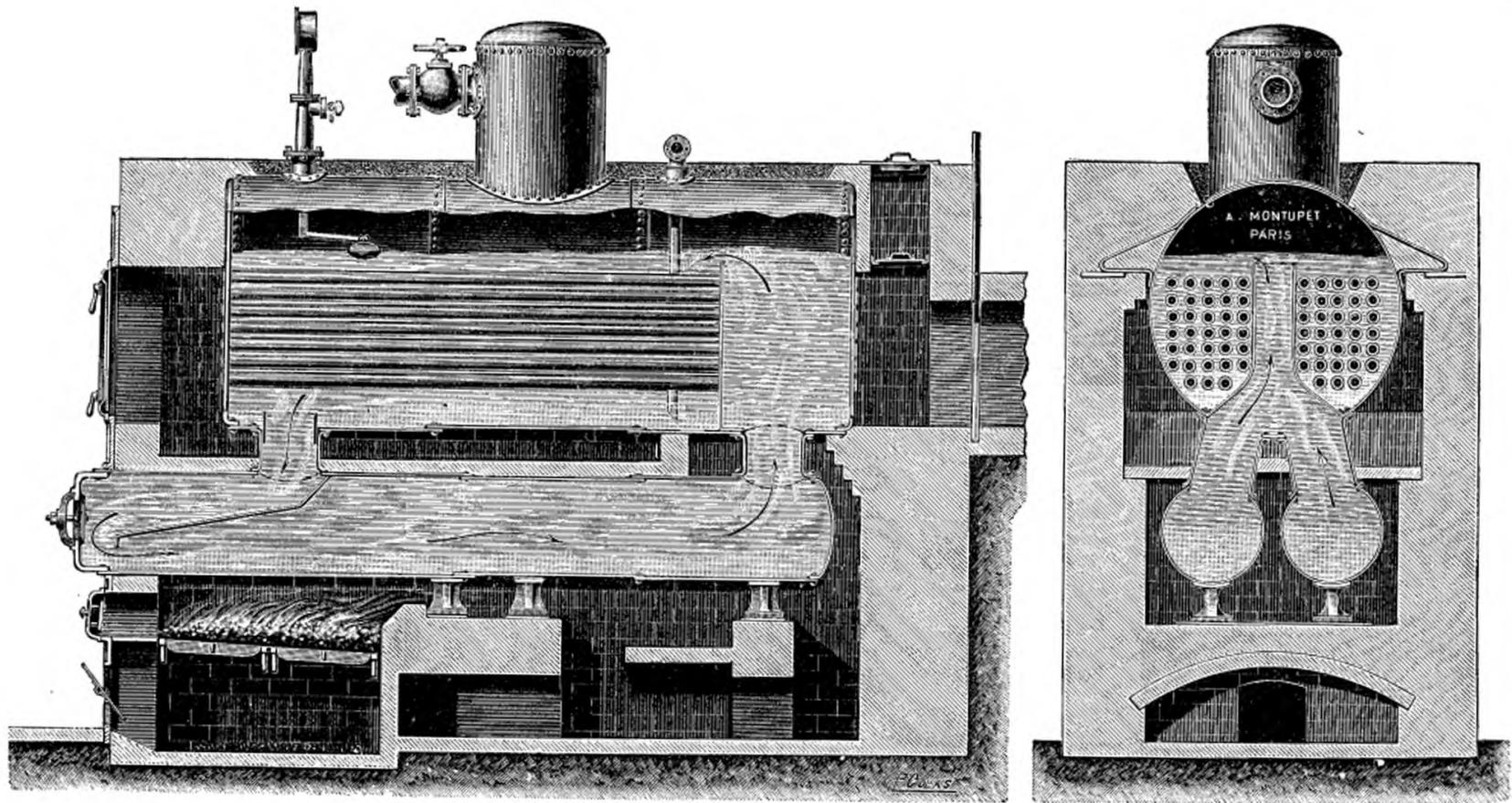


Fig. 56. — Chaudière semi-tubulaire, système Montupet.

Deux chaudières semi-tubulaires de 150 m³ de surface de chauffe, avec colonnes ascensionnelles allant au niveau moyen, ont été fournies par M. Montupet à M. Lecomte, fabricant de papier à Vitry-sur-Seine. Ces appareils, qui correspondent à une marche habituelle de 12 kg. par mètre carré, soit 1 800 kg. à l'heure, devront donner en marche normale, 3 400 kg. à l'heure, avec une vitesse de circulation dans les bouilleurs de 0^m,750 et un déplacement de 1 120 m³ pour chaque bouilleur.

Générateurs de Naeyer.

MM. de Naeyer et Cie, constructeurs à Villebroeck (Belgique) et à Prouvy-Thiant (France), présentaient à l'Exposition deux groupes de chaudières en fonctionnement :

1^o A l'usine La Bourdonnais, un groupe de six générateurs admis pour une production totale de 20.000 kg. de vapeur à l'heure.

2^o A l'usine Suffren, un groupe de quatre générateurs, admis pour une production totale de 13.000 kg. de vapeur à l'heure.

Tous ces générateurs étaient du même type et munis de réchauffeurs. Chacun d'eux avait une surface de chauffe de 213 m² et une surface de grille de 5^{m²},74. La vaporisation admise par mètre carré de surface de chauffe et par heure ressortait donc à 16,3 kg. d'eau.

Description. — (Voir Pl. 19). La chaudière proprement dite se compose d'un faisceau de 168 tubes en acier doux, de 0^m,100 et 0^m,120 de diamètre, 4 mm 3/4 d'épaisseur et 3^m,58 de longueur.

Quatorze tubes sont placés en largeur de la chaudière et douze en hauteur. Les deux rangées inférieures sont composées de tubes de 100 mm. qui relient les deux collecteurs en acier, dans lesquels ils sont mandrinés. Le collecteur d'avant est suspendu par un système spécial, reposant sur une forte charpente de poutrelles et permettant la libre dilatation du faisceau tubulaire. Celui-ci est incliné vers l'arrière afin d'assurer le dégagement facile et rapide de la vapeur.

Le collecteur d'arrière, dans lequel arrive l'eau d'alimentation, repose sur un soubassement fixe.

Cet ensemble forme un support qui reçoit les dix rangées de tubes de 120 mm.

A l'avant, au-dessus de ce second faisceau, se place un collecteur en acier dans lequel se dégage la vapeur provenant de ces dix rangées de tubes. Ce collecteur est surmonté d'un grand réservoir cylindrique

auquel il est relié par un joint conique à emboîtement du système de Naeyer.

Le collecteur de vapeur des deux rangées inférieures est mis en communication avec le réservoir supérieur par deux tuyaux de grand diamètre placés latéralement.

Une grande partie de la vapeur produite est formée dans les deux rangées inférieures de tubes, placées directement au-dessus du foyer.

Elle se dégage facilement par les deux tuyaux latéraux. Le collecteur d'arrière reçoit l'eau d'alimentation par deux tuyaux de grand diamètre, dits de retour d'eau, qui sont reliés au réservoir supérieur où se fait l'alimentation.

Ces dispositions permettent un très rapide dégagement de la vapeur produite ; l'eau arrivant en abondance, on obtient une circulation intense dans tout le système. Cette circulation empêche la formation de poches de vapeur et le métal, constamment mouillé et rafraîchi par l'eau, ne se détériore pas.

L'alimentation et le dégagement de la vapeur produite dans le faisceau supérieur se font par l'intermédiaire des caisses d'assemblages, reliés ou moyen des boîtes de communication avec joints métalliques à emboitements.

Tous les tubes producteurs de vapeur sont placés en quinconce et séparés de distance en distance par des chicanes parallèles. Cette disposition oblige les gaz de la combustion à se diviser en couches minces, ce qui favorise l'absorption de la chaleur qu'ils contiennent. A leur sortie du faisceau, avant de passer par le réchauffeur, ces gaz n'ont plus qu'une température de 250 à 280°.

Réchauffeur. — A la suite de chaque chaudière, se trouve un réchauffeur d'eau d'alimentation (voir *Pl. 19*).

Ce réchauffeur est composé d'un faisceau de tubes disposés en quinconce et en serpentin. L'eau circule dans ce faisceau de bas en haut, c'est-à-dire dans le sens inverse de la marche des gaz chauds. Ceux-ci arrivent dans le réchauffeur à une température moyenne de 260° et en sortent à 150° environ. La chaleur perdue par les gaz est absorbée par l'eau d'alimentation, qui arrive alors dans la chaudière à une température voisine de 100° ; le rendement du générateur est amélioré et on arrive à produire 10 kg. de vapeur par kilogramme de charbon brûlé (menu demi-gras de bonne qualité).

L'économie réalisée par le réchauffeur est de 9 à 10 %, suivant la température initiale de l'eau d'alimentation.

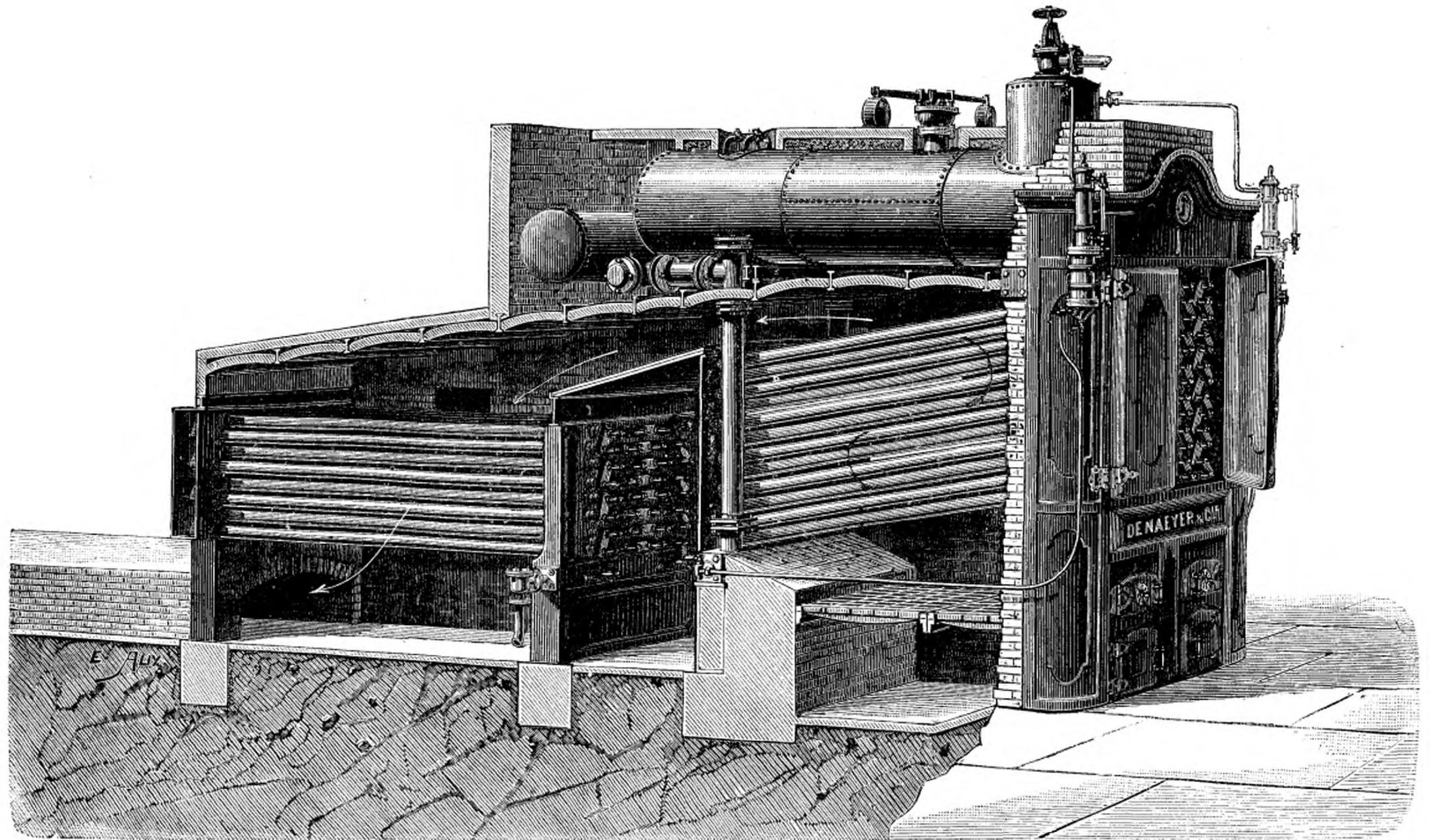


Fig. 57. — Générateur De Naecker avec réchauffeur.

Alimentation. — L'alimentation se fait dans la vapeur. Un dispositif spécial fait arriver l'eau de bas en haut et la déverse en nappe mince dans le courant de vapeur ; elle se trouve ainsi portée presque instantanément à la température de la vapeur. Les sels calcaires se précipitent en majeure partie et l'eau ainsi épurée se rend au collecteur d'alimentation par un tuyau dont l'ouverture se trouve à 0°,20 au-dessus du fond du réservoir.

Le mouvement de la grande masse d'eau du réservoir étant assez lent, une décantation s'opère et les dépôts calcaires se réunissent sous forme de boue dans un décanteur placé avant le tuyau de retour d'eau. On peut les retirer très facilement par purges sans qu'il soit nécessaire d'arrêter le générateur.

Réservoir supérieur. — Ce réservoir, de 1°,500 de diamètre et 6 m. de longueur, est à moitié rempli d'eau, ce qui procure les avantages des anciens générateurs à grand volume sans en occasionner les dangers, ce réservoir étant placé en dehors de la circulation des gaz. Aux deux tiers de la hauteur, se trouve une cloison métallique forçant la vapeur à parcourir deux fois la longueur du réservoir avant d'arriver au dôme, où elle se trouve entièrement sèche.

Les essais faits par les associations pour la surveillance des appareils à vapeur, démontrent que l'entrainement ne dépasse pas 1 0/0 d'eau et que souvent elle n'atteint pas 1/2 0/0.

Explosions. — Il est à peu près établi aujourd'hui que les explosions proviennent du manque de résistance des chaudières aux différentes pressions qu'elles sont susceptibles de recevoir.

Ce manque de résistance peut provenir de la mauvaise construction de la chaudière, mais il provient le plus généralement d'une dilatation inégale résultant d'une température irrégulière dans les différentes parties du métal.

Si les chaudières sont bien construites, dans de bonnes proportions, elles pourront, étant neuves, résister à une pression excédant celle des soupapes de sûreté ; quelques expériences hydrostatiques feront alors découvrir les défauts de la tôle ou les effets de la corrosion, mais elles ne préviendraient pas le danger résultant d'une dilatation inégale du métal.

Le défaut de circulation de l'eau dans les chaudières est une cause d'inégale dilatation et d'affaissement des parois.

L'abaissement du niveau de l'eau peut également devenir une source de danger dans les chaudières ordinaires qui nécessitent alors une

surveillance constante de la part du chauffeur. Dans certains cas, l'abaissement du niveau de l'eau de quelques centimètres occasionne une brûlure de la paroi et il peut en résulter de graves accidents si le chauffeur est inexpérimenté.

Les chaudières de Naeyer étant composées d'un grand nombre de tubes en fer, d'un diamètre relativement faible, reliés entre eux par des boîtes en fer sans le secours de joints artificiels, offrent une très grande résistance quelle que soit la pression désirée.

La circulation rapide de l'eau dans les tubes assure une température égale dans toutes les parties ; les affaiblissements dus aux dilatations inégales ne peuvent donc pas avoir lieu. Le niveau venant à baisser, le courant est encore très actif et si les tubes venaient à se vider, ils brûleraient sans qu'une explosion puisse se produire. Enfin, si une négligence impardonnable occasionnait la rupture d'un tube, la chaudière se viderait sans explosion possible.

Réparations et nettoyages. — La construction des chaudières est obtenue de manière à permettre un démontage très facile ; les tubes peuvent être remplacés rapidement, sans aucune difficulté. Le système de joints adopté rend les visites du générateur très simples ; il suffit de démonter les communications pour que les tubes soient accessibles à leurs extrémités.

Généralement, avec une eau ordinaire, on peut ne procéder au nettoyage intérieur que toutes les six semaines ou tous les deux mois.

Des regards munis de portes sont pratiqués dans une des parois latérales de la chaudière. Ils servent à introduire entre les tuyaux une lance à vapeur qui chasse la suie sans difficulté ; cette opération se fait pendant la marche.

Facilité de transport. — Les chaudières de Naeyer peuvent être démontées pièce par pièce, pour les expéditions en pays lointains, les usines, les scieries et un grand nombre d'industries situées à une certaine distance du chemin de fer et dont les moyens de transport sont primitifs.

Chaque élément de deux tubes peut être transporté séparément ; les fermures sont d'un poids relativement faible, leur montage facile ne demande pas d'ouvriers spéciaux.

Applications et essais. — Les générateurs de Naeyer ont reçu dans tous les genres d'industrie de nombreuses applications ; ils sont actuellement répandus en Europe en très grande quantité et leur fonctionnement n'a jamais donné lieu au moindre accident grave.

Les perfectionnements qui ont été apportés dans la construction, au cours de ces dernières années, placent ces appareils au premier rang des chaudières multitubulaires employées couramment dans l'Industrie.

Les tableaux suivants donnent les résultats de quelques essais effectués sur les générateurs de Naeyer par l'Association Alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur et par l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France.

ASSOCIATION ALSACIENNE
DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

SERVICE EXTRAORDINAIRE — MARCHE FORCÉE

Mulhouse, le 2 Mars 1896.

Compagnie Nancéienne d'Electricité, à Nancy.

J'ai l'honneur de vous rendre compte des résultats de l'essai de vaporisation exécuté le 21 février 1896 sur la chaudière ci-dessous désignée de votre établissement de Nancy.

Chaudière multitubulaire de Naeyer.
Surface de chauffe productrice S : 210^{m²}
» de grille s : 5^{m²},76

Rapport $\frac{s}{S} = \frac{1}{36,45}$

Durée de l'essai : 7 h.,55 = 7 h.,916

Marche : de 7 heures à 2 h.,55'.

Combustible. — Provenance : Montceau-Fontaine (menu graineux).

Poids d'eau brut, pendant l'essai : K ^o	5 600,00
Poids d'eau contenu % : »	2,60
» » » total : »	145,60
» total brûlé sec : »	5 454,40
Scories, poids total : »	477,00
Cendres » » : »	168,00
Déchet » » : »	645,00
» % K ^o sec : »	11,82
Poids net, humide : »	4 955,00
» » sec : »	4 809,40

Eau. — Pression moyenne de la vapeur : 10^k,80.

Température correspondante : 186°

Température de l'eau d'alimentation t^o : 6°

Coefficient de réduction à 0° : 0,9909

Poids d'eau injectée à t^o [(37 × 538,60 + (36 × 562,80)] - 156 = 40,033 kg.

Correction : Aucune

Poids d'eau évaporée, réduite à 0° : 39 698,70.

<i>Rendements.</i> — Eau à	0°	6°
Brut en combustible humide : 7 ^k ,08	7 ^k ,14	
» » sec : 7 ,27	7 ,33	
Net » humide : 8 ,00	8 ,07	
» » sec : 8 ,24	8 ,32	

Observations diverses

Brûlé, brut par heure et m² de surface de chauffe K^o 3,368
 grille » 122,763

Production de vapeur par heure : (5 057^k,22) et m² de surface de chauffe productrice K^o 24,080

Tirage, à l'arrière du registre : 17^{m/m},4

Température de la fumée à l'arrière du registre 417°,5

Nombre de charges total : 63

» » par heure : 8

Poids de combustible par charge K^o : 88^k,88.

Observations. — Comme la veille, le feu a été rendu exactement dans l'état dans lequel il avait été pris. Outre les décrassages qui ont précédé, de 3/4 d'heure à 1 heure, le commencement et la fin de l'essai, il y a eu deux décrassages intermédiaires vers 10 heures et demi (Pendant ces périodes de décrassage, la pression tombait de 1 kg. environ). Le bruit que déterminait l'échappement de la vapeur à l'extérieur, pendant l'essai du 20 février, ayant donné lieu à des plaintes de la part des voisins, on a dû dépenser par les machines la vapeur produite le 21 février; dans ce but on a éclairé le théâtre et quelques autres établissements publics.

L'allure correspondant à la production horaire de 5 000 kg. de vapeur a été obtenue après une heure de marche. Dans ces conditions de production, le constructeur avait garanti un rendement de 8 kg. en houille pure, sèche, avec eau d'alimentation à 35°/40°.

Ce rendement a été dépassé de 4 %, avec de l'eau introduite dans la chaudière à 6° seulement; les engagements du constructeur ont été remplis, plus largement même que dans les conditions de production du 20 février.

Agréez, Messieurs, nos sincères salutations.

L'Ingénieur en chef de l'Association,

WALTHER MEUNIER.

N. B. — Avec de l'eau à 35°/40° la vaporation aurait été de 8,8 lit. par kg. de charbon pur brûlé.

ASSOCIATION ALSACIENNE
DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

SERVICE EXTRAORDINAIRE — MARCHÉ NORMALE

Mulhouse, le 2 Mars 1896.

Compagnie Nancéienne d'Electricité, à Nancy.

J'ai l'honneur de vous rendre compte des résultats de l'essai de vaporisation exécuté le 20 février 1896 sur la chaudière ci-dessous désignée de votre établissement de Nancy.

Chaudière multitubulaire de Naeyer.

Surface de chauffe productrice S : 210 m²

» de grille s : 5^{m²},76

Rapport $\frac{s}{S} = \frac{1}{36,45}$

Durée de l'essai : 7h.,40' = 7h.,666

Marche : de 6h.,37' à 2h.,17'.

Combustible. — Provenance : Montceau-Fontaine, menu graineux.

Brûlé, brut, pendant l'essai :	K ^{es}	3 325,00
Poids d'eau contenu, % :	»	2,60
» » » total :	»	86,45
» total brûlé sec :	»	3 238,55
Scories, poids total :	»	264,50
Cendres » :	»	179,00
Déchet » :	»	443,50
» % K ^{es} sec :	»	13,69
Poids net, humide :	»	2 881,50
» » sec :	»	2 795,05

Eau. — Pression moyenne de la vapeur : 11^k,54.

Température correspondante : 189°

Température de l'eau d'alimentation t^o : 6°

Coefficient de réduction à 0° : 0,9909

Poids d'eau injectée à t^o : [23 (538,60+562,80)]+40 = 25 372^k,20

Correction : Aucune

Poids d'eau évaporée, réduite à 0° : 25 141^k,30

<i>Rendements.</i> — Eau à		0°	6°
Brut en combustible humide :	7 ^k ,56	7 ^k ,63	
» » sec :	7 ,76	7 ,83	
Net humide :	8 ,72	8 ,80	
» » sec :	8 ,98	9 ,07	

Observations diverses.

Brûlé, brut par heure et m² de surface de { chauffe K^{es} 2 ,065 grille » 75 ,269

Production de vapeur par heure : 3309^k, 70 { 15, 760 et m² de surface de chauf^e productrice K^{es} }

Tirage, à l'arrière du registre : 13^{m/m},5

Température de la fumée à l'arrière du registre : 278°,3

Nombre de charges total : 56

» » par heure : 7 à 8

Poids de combustible par charge K^{es} : 59,37.

Observations. — Le feu a été décrassé une heure avant le commencement et une heure avant la fin de l'essai; on a brûlé le même poids de houille (275 kg.) entre le dernier décrassage et l'arrêt de l'essai, qu'entre le premier décrassage et le commencement. — Il y a eu un décrassage intermédiaire à 10 heures.

La vapeur produite a été lâchée à l'extérieur par le tuyau de prise de vapeur et par les scupapes de sûreté; on a tâtonné jusque vers 7 h.,30' pour arriver à la production d'environ 3 500 kg. de vapeur par heure, garantie par le constructeur. Dans ces conditions de production (réalisées à 5 % près) le rendement net, en houille sèche, devait être de 9 kg., l'eau étant introduite dans la chaudière à la température de 35 à 40°.

Ce rendement a été un peu dépassé, avec eau d'alimentation à 6° seulement. — Les engagements du constructeur sont donc remplis.

Agréez, Messieurs, mes sincères salutations.

L'Ingénieur en chef de l'Association,
WALTHER MEUNIER.

N.B. — Avec de l'eau à 35-30° la vaporisation aurait été de 9,5 lit. par kg. de charbon pur brûlé.

**ASSOCIATION DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR
DU NORD DE LA FRANCE**

*Essais de vaporisation faits les 12 et 13 décembre 1893
sur quatre Générateurs multitubulaires système DE NAEYER et Cie*

Munis de deux réchauffeurs Green

Installés dans les établissements de MM. LÉON ALLART et Cie, filateurs à Roubaix.

	1 ^{re} journée	2 ^e journée	Les 2 journées réunies
<i>Générateurs</i>			
Heures de marche (valves ouvertes).	40 h. 30'	40 h. 30'	21 h. 00'
Surface de chauffe totale { sans réchauffeur Green. des 4 générateurs. avec id.	4 340 m ² 4 777 m ²	4 340 m ² 4 777 m ²	4 340 m ² 4 777 m ²
Surface de grille des 4 générateurs	20m ² 88	20m ² 88	20m ² 88
<i>Houille</i>			
Poids de houille brute et sèche brûlée*.	44 692 ^k ,890	14 429 ^k ,210	28 822 ^k ,400
Poids de scories correspondant	4 517 ,150	4 443 ,000	2 960 ,456
Proportion % de scories	10,33 %	10,24 %	10,27 %
Poids de houille pure consommée.	13 475 ^k ,740	12 686 ^k ,210	25 861 ^k ,950
<i>Eau et vapeur</i>			
Température moyenne de l'eau d'alimentation.	20°82	21°65	21°23
Poids d'eau vaporisée à la température d'alimentation.	132 324 ^k ,533	130 899 ^k ,490	263 223 ^k ,723
Pression moyenne de la vapeur.	7 ,060	6 ,883	6 ,973
<i>Etat de marche des Générateurs</i>			
Nombre de charges pour les 4 générateurs.	352	379	731
Poids moyen par charge en houille brute et sèche.	44 ^k ,744	37 ^k ,280	39 ^k ,428
Intervalle moyen des charges.	7'09" 1/2	6'39"	6'33" 2/3
Poids de houille consommée { brute et sèche : par heure et m ² de grille { pure	67 ^k ,047 60 ,097	64 ^k ,446 57 ,864	65 ^k ,732 58 ,960
Poids de houille brute et sèche { consommée par heure : et m ² de surface de chauffe { avec réchauffeurs sans id.	0 ,787 4 ,044	0 ,737 4 ,004	0 ,772 4 ,024
Poids de houille pure consommée par heure et m ² de surface de chauffe { avec réchauffeurs sans id.	0 ,706 0 ,936	0 ,680 0 ,902	0 ,693 0 ,919
Poids d'eau prise à 0° et vaporisée à 5 atmosphères par heure.	12 304 ,922	12 451 ,483	12 228 ,053
Poids d'eau prise à 0° et vaporisée à 5 atmosphères par heure et m ² de surface de chauffe { avec réchauffeurs sans id.	6 ,925 9 ,483	6 ,838 9 ,068	6 ,882 9 ,426
<i>Rendement</i>			
Poids d'eau prise à la température d'alimentation et vaporisée à la pression moyenne. { par kilog. de houille brute et sèche par kilog. de houille pure	9 ,006 40 ,043	9 ,264 40 ,318	9 ,433 40 ,478
Poids d'eau prise à 0° et vaporisée à 5 atmosphères { par kilog. de houille brute et sèche par kilog. de houille pure	8 ,793 9 ,806	9 ,030 10 ,057	8 ,944 9 ,934
Prix de revient de 4 000 kilogrammes de vapeur à 0° et 5 atmosphères { avec la houille rendue dans l'usine. avec la houille prise à la fosse	4f,558 4f,279	4f,517 4f,246	4f,537 4f,262
<i>Réchauffeurs Green et Tirage des Gaz</i>			
Température moyenne de l'eau d'alimentation pour les 2 Green. { à l'entrée dans les Green à la sortie. Différence	20°,82 39 ,63 38 ,83	21°,65 62 ,42 40 ,77	21°,23 61 ,03 39 ,80
Température moyenne des gaz { à l'entrée dans les Green à la sortie. Différence	216 ,53 438 ,26 58 ,27	205 ,42 439 ,63 45 ,79	— — —
Bénéfice réalisé par les réchauffeurs Green.	6,09 %	6,41 %	6,26 %
Tirage en millimètres d'eau { avant le Green. avant la cheminée	9m/m,5 14m/m	9m/m,5 14m/m	9m/m,5 14m/m

N.B. — Le charbon employé était un mélange de fines et de moyen de la Fosse Casimir-Périer d'Anzin.

Générateurs Niclausse.

MM. J. et A. Niclausse, constructeurs, à Paris, ne présentaient pas moins de 21 générateurs multitubulaires en fonctionnement au Champ-de-Mars, savoir :

12 générateurs à l'Usine La Bourdonnais.

9 générateurs à l'usine Suffren.

Ces 21 générateurs, réunis par groupes de 3, ont été admis par le comité technique des machines pour une production totale de 35,000 kg. de vapeur par heure.

Ils sont d'un type unique ; chacun d'eux a une surface de chauffe de $100\text{m}^2,16$ et une surface de grille de $2\text{m}^2,94$; la production unitaire étant de 1667 kg. de vapeur, il en résulte que la vaporisation par mètre de surface de chauffe et par heure atteint 16,7 kg. d'eau.

Nous donnons, *Pl. 20*, les dessins de l'installation complète de l'usine La Bourdonnais et d'un groupe de trois générateurs.

Les chaudières Niclausse sont aujourd'hui bien connues en raison du grand nombre des applications qu'elles ont reçues dans l'industrie et dans la marine. Leur système est basé sur le principe des tuyaux Field ; il réunit, à la suite de perfectionnements incessants, les meilleures conditions de sécurité et de fonctionnement des générateurs inexplosibles.

Description. — La chaudière Niclausse se compose d'un certain nombre d'organes vaporisateurs, réunis entre eux et à un réservoir au moyen de collecteurs.

Organes vaporisateurs. — Les organes 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 organe vaporisateur 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.

Les deux extrémités de cette lanterne sont légèrement coniques ; de plus elle est percée en son milieu et sur sa face antérieure 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.

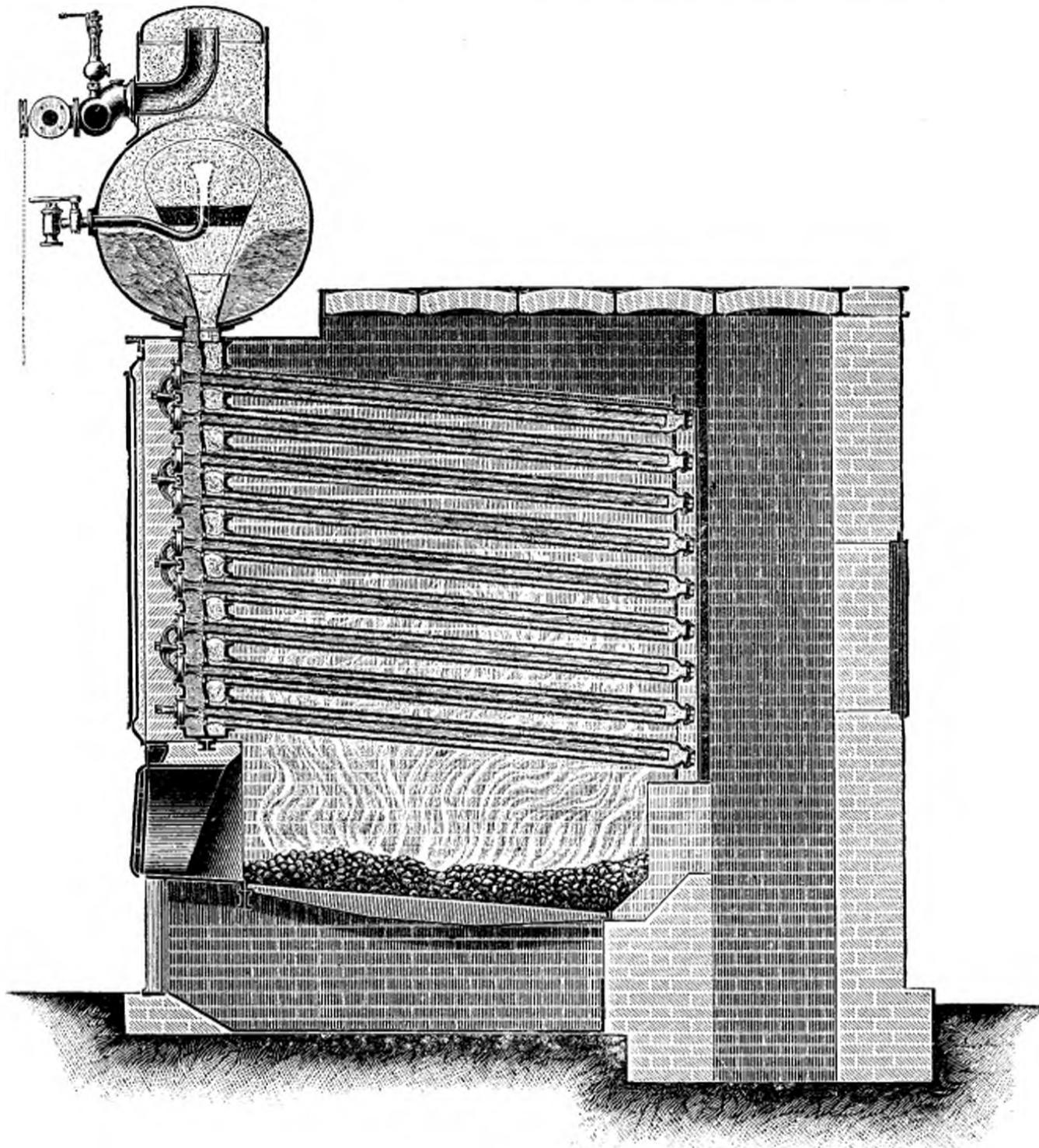


Fig. 58. — Générateur Niclausse.

Collecteurs. — Les organes vaporisateurs, composés comme il est dit précédemment, se fixent sur les collecteurs.

Chaque collecteur est divisé en deux compartiments par une cloison parallèle aux deux cloisons extrêmes. Ces trois cloisons sont percées

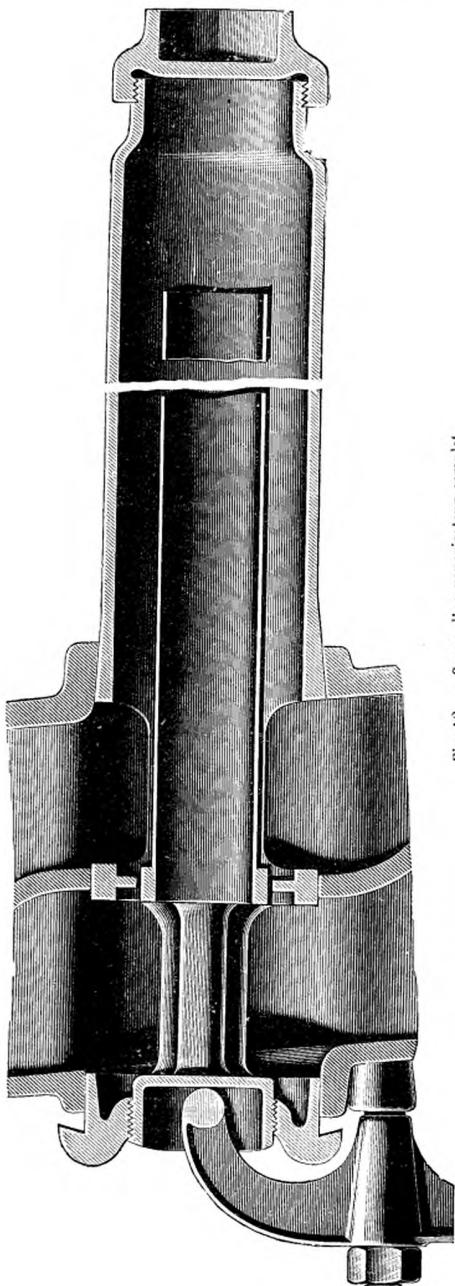


Fig. 53. — Coupe d'un vaporisateur complet.

d'ouvertures ayant le même axe que les tubes qui doivent venir s'y fixer. 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 assurés d'une façon certaine.

Les parties intérieures de cônes de la lanterne portant sur les cloisons extrêmes du collecteur, sont de même diamètre ; il en résulte que, la pression intérieure s'exerçant sur deux surfaces égales et en sens contraire, 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 dans le cas où une cause anormale (chocs, vibrations, etc.), viendrait à l'ébranler.

Les tubes fixés seulement à l'avant et simplement supportés à l'arrière, présentent une liberté absolue de dilatation.

Un collecteur porte plusieurs tubes vaporisateurs dont le nombre, le diamètre et la longueur varient suivant le type et la puissance de l'appareil ; les collecteurs sont réunis à leur partie inférieure de façon à pouvoir faire des extractions sous pression.

Le faisceau tubulaire ainsi disposé, se place dans une armature en tôle garnie de matières isolantes ; sous le faisceau et à une certaine distance des tubes, se trouve la grille du foyer.

Réservoir. — Les collecteurs communiquent à la partie supérieure avec le réservoir auquel ils sont fixés au moyen de joints métalliques biconiques démontables.

Le réservoir porte les accessoires ordinaires et réglementaires : soupapes de sûreté, robinets de niveau d'eau, de jauge, d'extraction, de surface, clapet de retenue, dispositif à dépôts, valve de prise de vapeur, etc.

Fonctionnement. — L'eau d'alimentation est refoulée par les pompes dans un dispositif spécial renfermé dans le réservoir supérieur. Au moment de son introduction, elle est pulvérisée et se trouve dans cet état en contact intime avec la vapeur ; il en résulte un échauffement qui produit la précipitation des sels calcaires, contenus dans l'eau.

Les dépôts ainsi recueillis au fond du dispositif, qui contient toujours de l'eau, sont extraits sous pression.

Dès que l'eau contenue dans les tubes commence à s'échauffer, un mouvement ascensionnel se produit dans la lame arrière des collecteurs tandis qu'un mouvement inverse, de haut en bas commence dans la lame avant. Les tubes vaporisateurs inférieurs s'échauffent les premiers, l'eau qui descend ne pénètre pas immédiatement dans les tubes de circulation des rangées supérieures.

Mais, bientôt, le mouvement s'établit dans tout le faisceau tubulaire, les tubes en grande activité se trouvant toujours à la partie basse des collecteurs dont les cloisons sont disposées en pente, afin que l'eau froide puisse trouver un sérieux appel à la partie inférieure avant. La partie haute arrière procure au contraire un plus vaste espace au dégagement des bulles de vapeur qui se forment dans les tubes et qui s'ajoutent les unes aux autres au fur et à mesure qu'elles s'élèvent.

Cette disposition est très importante ; combinée avec les sections des tubes bouilleurs et des tubes de circulation, elle permet à la chaudière de produire la vapeur d'une façon illimitée, en quelque sorte, sans qu'il se forme de poches de vapeur de nature à faire obstacle à la circulation ; il en résulte une sécurité complète au point de vue de la

conservation des tubes. Le cycle est très court, les sections de passage favorisent la circulation normale en évitant les pertes de charge et la vaporisation se fait régulièrement quelle que soit l'intensité du foyer.

Plus le feu est poussé, plus la circulation est intense et plus grande est la production de vapeur. Les bulles de vapeur se dégagent vers le réservoir supérieur dans lequel les cloisons des collecteurs se prolongent par un diaphragme, dans le but d'éviter un dégagement tumultueux. Ce diaphragme sépare la vapeur, qui arrive dans la partie arrière, et l'isole de l'eau à réchauffer qui descend dans la partie avant.

Le dégagement de la vapeur se fait sur une très large surface, la vapeur puisée à la partie supérieure du dôme est bien sèche et évite ainsi l'emploi des appareils spéciaux que nécessite la production de vapeur humide.

La chambre de foyer est vaste et permet d'obtenir une combustion aussi complète que possible; d'un autre côté, les tubes vaporiseurs sont suffisamment rapprochés les uns des autres pour absorber facilement la chaleur produite par la combustion, de sorte que l'utilisation du combustible est parfaite.

La régularité du fonctionnement est la conséquence naturelle de la facilité de conduite du générateur; elle se trouve assurée simplement par la quantité d'eau, relativement considérable, que la chaudière renferme. Cette eau se trouve répartie dans la totalité des tubes et dans une partie du réservoir supérieur son volume est tel qu'il rend absolument inutile l'emploi d'accessoires autres que ceux des chaudières ordinaires.

Construction. — Les matières premières utilisées dans la construction des générateurs Niclausse sont de toute première qualité; ils proviennent d'établissements réputés pour leur fabrication irréprochable. Les tôles sont fournies par le Creusot et les forges de Douai, les tubes par la Société Escaut et Meuse et la Compagnie des Métaux, les fontes d'acier par la Fonderie Thomé, dans les Ardennes, qui les fabrique spécialement pour la maison Niclausse.

Malgré ces garanties, toutes les matières entrant à l'usine sont soumises à un examen scrupuleux et sondées une à une par le contrôle des pièces brutes qui opère des essais de traction et de résistance sur un pourcentage de la quantité totale. Cette précaution permet, après la fabrication, de présenter les différents organes des générateurs à l'essai hydraulique sans crainte de rebuts.

Les tubes bouilleurs sont obtenus en acier étiré sans soudure pour les chaudières du type « marine » qui sont soumises à des efforts élevés ; pour le type de terre, on emploie l'acier soudé à recouvrement.

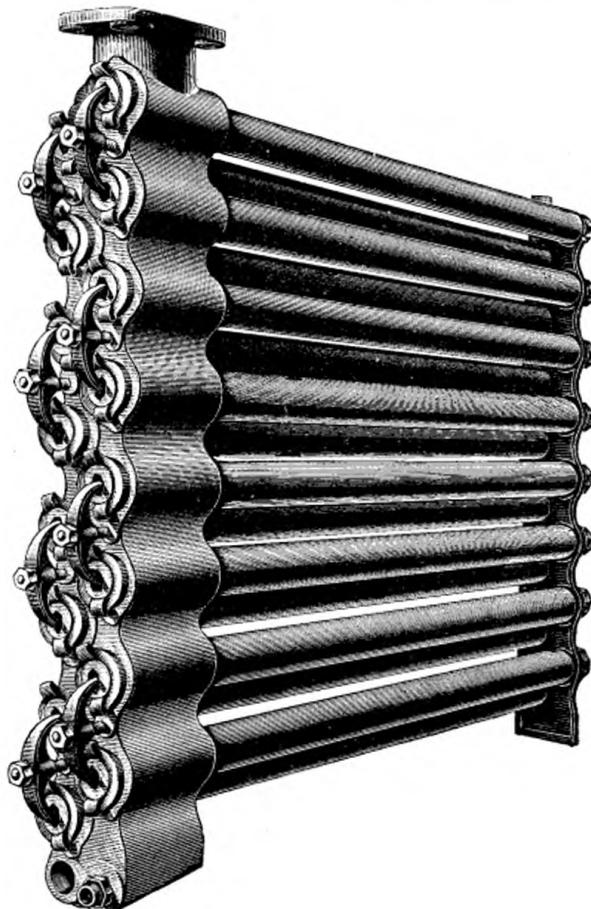


Fig. 60. — Collecteur complet.

Ces tubes arrivent de l'usine de fabrication à la longueur requise, avec une partie refoulée pour recevoir le cône arrière ; ils sont travaillés au tour pour obtenir le cône sur le refoulement, le filetage conique sur lequel se visse le bouchon et le filetage conique intérieur de la partie avant du tube dans lequel vient se visser la lanterne.

La lanterne est en acier fondu. La première opération qu'elle subit est la formation du cône à l'avant ; la seconde, le filetage conique intérieur de cette partie avant dans lequel se visse le lanterneau du tube de circulation et la troisième le filetage de l'extrémité qui correspond

au tube. Le bouchon arrière, en acier estampé, est taraudé cône intérieurement sur une machine spéciale et se visse à l'extrémité arrière du tube.

Le tube intérieur de circulation comprend le tube et le lanterneau. Le tube est constitué par des lames d'acier de $8/10$ de millimètre, travaillées à la filière en quatre passages successifs. Le lanterneau après filetage, est monté sur le tube et fixé par deux rivets.

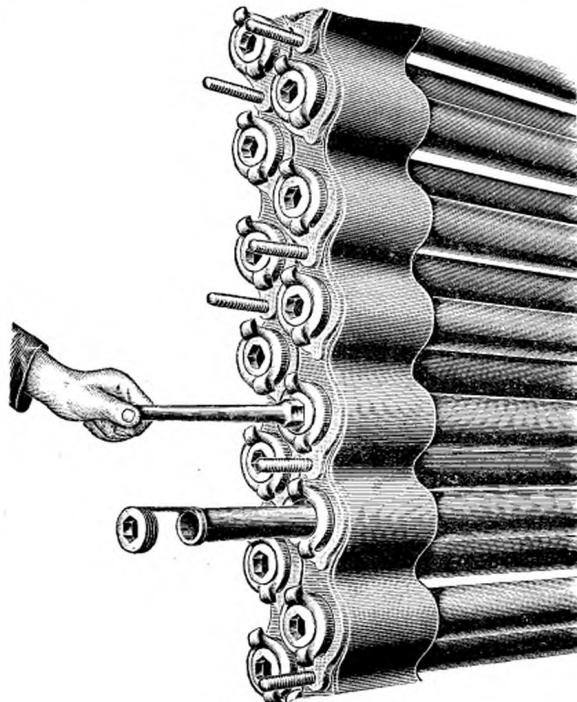


Fig. 61. — Sortie d'un tube intérieur.

Les collecteurs sont travaillés spécialement aux machines radiales pour la fabrication des deux cônes destinés à porter les tubes. Ces cônes s'obtiennent avec trois fraises successives : la première de dégrossissage, la seconde met au $1/10$ de millimètre et la troisième au $1/100$ de millimètre. Des calibres sont passés successivement dans chacun des cônes par l'ouvrier, puis par le contremaître, pour vérifier l'exactitude des dimensions. Ce travail terminé, on forme le cône de la collerette destinée à recevoir le mamelon biconique qui sert à réunir le collecteur au réservoir à vapeur et on fore les quatre trous de la collerette qui reçoit les boulons coniques de serrage.

Le collecteur passe ensuite entre les mains d'une autre équipe qui perce les trous inférieurs des clarinettes d'extraction et les trous filetés dans lesquels se fixent les goujons des barrettes de sûreté. Le collecteur est envoyé au montage où on le garnit de tubes pour faire l'essai hydraulique à une pression de 25 kg. par centimètre carré; il est classé en magasin jusqu'au moment où il sera monté à la tôle en même temps que les autres collecteurs à fixer au faisceau tubulaire.

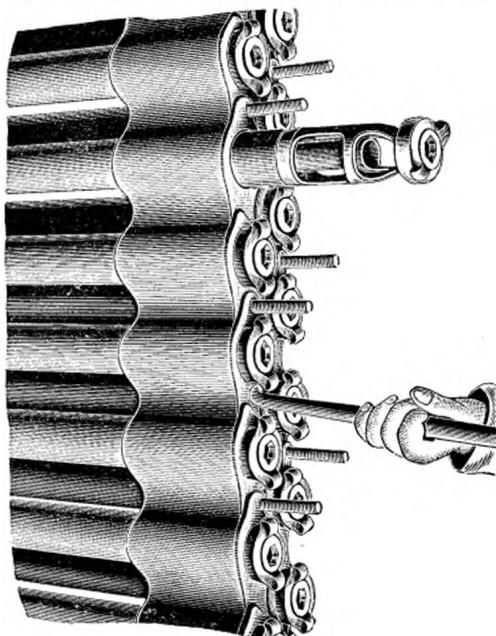


Fig. 62. — Sortie d'un vaporisateur complet.

À ce moment, le réservoir et les clarinettes sont mis en place et on fait l'essai hydraulique de l'ensemble à la même pression que précédemment.

Le faisceau complet peut alors être soumis à l'essai officiel du contrôle des mines.

Le réservoir de vapeur se compose du piétement, du réservoir proprement dit, des deux fonds et des accessoires de robinetterie, soupapes, prises de vapeur, etc.

Le piétement est d'abord percé d'autant de trous coniques que le générateur comporte de collecteurs; on fore ensuite les trous des rivets qui doivent le fixer au réservoir et on le remet à la chaudron-

nerie. Les chaudronniers roulent la tôle d'acier du réservoir, soudent les extrémités, percent les trous de rivets, fixent les piétements et les fonds, le dôme supérieur et tous les autres piétements pour accessoires de robinetterie et soupapes. Le réservoir subit ensuite un essai à la pompe hydraulique, sous une pression de 38 kg. par centimètre carré.

Perfectionnements de la construction. — MM. J. et A. Niclausse apportent en ce moment une nouvelle série de perfectionnements dans la construction de leurs générateurs. Le plus important de ces perfectionnements consiste à substituer l'acier estampé à la fonte aciéreuse.

Les collecteurs et les lanternes construits en fonte aciéreuse donnaient jusqu'à ce jour toute satisfaction, mais leur fabrication est souvent impossible à l'étranger tandis que l'acier estampé peut être obtenu en tous pays.

Les collecteurs seront désormais formés d'un tube carré, étiré sans soudure, dans lequel, au moyen d'une puissante presse hydraulique, on estampera sur les deux faces avant et arrière, les trous cônes destinés à recevoir les tubes. Les essais ayant été très satisfaisants, on construit actuellement les presses spéciales. Les tubes seront d'une seule pièce, c'est-à-dire que la lanterne sera découpée dans le tube lui-même ; les deux cônes seront formés, l'un à l'arrière sur un renflement du tube, l'autre à l'avant sur un refoulement formé à chaud.

De cette façon le tube sera encore plus solide qu'avec son ancienne lanterne rapportée et il ne pourra plus se produire de rupture de lanterne amenée par maladresse du personnel.

Entretien. — L'entretien du faisceau tubulaire se fait très facilement. On emploie pour les nettoyages extérieurs la lance à vapeur que l'on introduit par les vides ménagés à cet effet dans les collecteurs et qui enlève entièrement le noir de fumée déposé sur les tubes. D'un autre côté, il suffit dans la plupart des cas de nettoyer l'intérieur pour que le générateur soit maintenu dans un parfait état de propreté.

Les dépôts, si la nature des eaux en donne, restent dans ces tubes à l'état de boues, car ils ne sont pas soumis à l'action directe de la chaleur ; un simple lavage à l'eau suffit généralement pour les enlever. Le dispositif spécial dans lequel se précipitent la plus grande partie des dépôts permet d'expulser ceux-ci sous pression.

L'entretien est peu coûteux, tous les joints du faisceau tubulaire, quels qu'ils soient, étant métalliques. On n'emploie ni cérasé, ni minium, ni amiante pour les assurer.

Réparations. — La circulation active et régulière qui se produit naturellement dans le générateur et qui enlève au métal la chaleur au fur et à mesure qu'il la reçoit du foyer, fait que ce métal se trouve dans les conditions les plus avantageuses au point de vue de la durée, puisque l'eau arrive régulièrement et à une température relativement élevée sur les tubes vaporisateurs.

De plus, la liberté absolue de dilatation fait également qu'il n'y a là encore aucune fatigue à craindre puisque la dilatation de tous les tubes est absolument libre, ceux-ci n'étant fixés qu'à une de leurs extrémités.

Il est à remarquer que les tubes supérieurs qui se dégarnissent généralement les premiers, dans les chaudières similaires, lorsqu'un arrêt se produit pour une cause quelconque dans l'alimentation, sont, dans le système Niclausse, en contact avec les gaz de sortie dont la température est la moins élevée.

On se rend compte par ce qui précède que les causes de réparations sont soigneusement évitées. Cependant, si une réparation devient nécessaire, la division du générateur en pièces de peu d'importance et la facilité avec laquelle on peut démonter et remonter celles-ci, font que cette opération est extrêmement facile et peu dispendieuse. La plus importante, le changement d'un tube, ne coûte en somme que la valeur du tube, car l'opération du changement en elle-même ne représente pas une dépense appréciable.

En résumé, la réparation proprement dite n'existe pas dans ce générateur, car ce qui représente un travail important de main-d'œuvre dans beaucoup de systèmes ne constitue ici que le changement d'une pièce simplement posée et serrée. Cette opération ne demande que quelques minutes et peut se faire sans l'aide d'un ouvrier spécial.

Sécurité. — Avec les chaudières multitubulaires, la sécurité ne dépend pas de la plus ou moins grande quantité d'eau qu'elles peuvent contenir, elle dépend essentiellement de leur mode de construction et surtout de la fatigue du métal qui entre dans leur composition.

Plus la circulation est active dans un générateur, plus les surfaces de chauffe tendent à se maintenir propres ; l'échange de température se faisant bien, le métal se trouve dans d'excellentes conditions de travail et de durée. De plus, s'il y a de l'eau dans tous les tubes, l'échange de température se fait encore mieux et le métal fatigue d'autant moins.

Le générateur Niclausse se trouve dans les conditions les plus avantageuses pour que l'eau enlève régulièrement au métal la chaleur que

celui-ci reçoit du foyer ; il présente par conséquent une sécurité complète.

Emplacement et poids.— La surface occupée par le générateur est sensiblement la même que celle de la surface de grille puisque les tubes sont situés directement au-dessus.

D'un autre côté, toutes les opérations, nettoyages ou réparations, se font exclusivement par la façade du générateur.

N'ayant besoin d'aucun espace libre, ni sur les parties latérales, ni sur l'arrière, même lorsqu'il s'agit d'enlever un tube isolément, il en résulte que le générateur occupe l'emplacement le plus restreint. Il permet de faire tous les services, même le changement de tube, exclusivement par la chambre de chauffe et en ne démontant que ce tube seulement.

Les pièces fondues du générateur sont exécutées sur modèles en métal et fouillées de façon à enlever tout poids inutile ; les parties ayant besoin d'être renforcées le sont seules. On obtient ainsi, tout en conservant une construction robuste, un appareil d'un poids très réduit. Le générateur peut se démonter en un grand nombre de pièces dont la plus lourde, le réservoir, est encore facilement maniable. Il présente ainsi un avantage considérable au point de vue de l'expédition et du transport dans les pays lointains où les moyens de communication font défaut.

Ajoutons, en ce qui concerne l'emplacement, qu'une batterie de trois générateurs produisant chacun 1 500 kg. de vapeur à l'heure, soit 4 500 kg. au total, n'occupe qu'un emplacement de 5^m,30 en longueur, 3^m,25 en largeur et 4^m,10 en hauteur.

Résultats d'essais effectués en 1898 sur une batterie de 12 générateurs Niclausse installés, pour le compte de la Ville de Paris, à l'usine municipale de Colombes.

L'usine de relais de Colombes a pour objet de reprendre les eaux d'égout refoulées par l'usine de Clichy, de la cote moyenne 25^m,80 à l'aspiration, pour les éléver jusqu'au point haut du coteau d'Argenteuil, à la cote 60 m.

L'installation générale, qui comprend 12 groupes élévatrices, se compose de deux parties.

Résultats des essais officiels des 30 et 31 Mars 1898

N° d'ordre	DÉTAILS DES ESSAIS	Essais	Essais	
		du 30 mars	du 31 mars	
1	Durée de l'essai	6 heures	6 heures	
2	Numéros des chaudières	15 et 16	11 et 12	
3	Pression moyenne aux chaudières en kilogrammes par centimètre carré	7 ^k , 500 27°	7 ^k , 500 23°	
4	Température moyenne de l'eau d'alimentation	52 800 lit.	42 374 lit.	
5	Eau évaporée, prise aux températures précédentes			
6	Poids de l'eau vaporisée (prise aux températures moyennes précédentes)	52 616 k.	42 269 k.	
7	Eau vaporisée (la température de l'eau d'alimentation étant ramenée à 0°)	50 455 lit.	40 533 lit.	
8	Poids de l'eau vaporisée (la température de l'eau d'alimentation étant ramenée à 0°)	50 445 k.	40 525 k.	
9	Charbon brûlé (tout-venant)	5 220 k.	4 375 k.	
10	Surface de grille pour les 2 chaudières (2×3 ^m ,72).	7 ^m ,44	7 ^m ,44	
11	Surface de chauffe pour les 2 chaudières (2×132 ^m ,30)	264 ,69	264 ,60	
12	Rapport de la surface de chauffe à la surface de grille	35,56	35,56	
13	Charbon brûlé par mètre carré de surface de grille et par heure			
14	Poids d'eau vaporisée par kilogramme de charbon, dans les conditions de l'essai	117 k.	98 k.	
15	Poids d'eau vaporisée par kilogramme de charbon	Eau et vapeur ramenées à 100°.	9 ,66	9 ,26
		La température de l'eau d'alimentation étant ramenée à 0°.		
16	Poids d'eau vaporisée par heure et par mètre carré de surface de chauffe	Dans les conditions de l'essai.	11 ,16	10 ,75
		La température de l'eau d'alimentation étant ramenée à 0°.	33 ,14	26 ,63
17	Poids d'eau vaporisée par heure et par mètre carré de surface de grille	Dans les conditions de l'essai.	31 ,77	25 ,53
		La température de l'eau d'alimentation étant ramenée à 0°.	1 178 ,7	946 ,8
			1 130 ,00	908 ,00

La seconde partie a été mise en fonctionnement en juillet 1898 ; elle comprend 8 groupes élévatrices et 12 générateurs Niclausse. Ces générateurs, tous semblables, timbrés à 12 kg., ont une surface totale de grille de 44^m,64 et une surface de chauffe de 1 721^m,51 ; ils sont du type semi-tubulaire avec récepteur en T, de façon à posséder un grand volume d'eau en marche (60 000 lit.) La production totale de vapeur à l'heure est de 36 000 kg.

Il ressort de ce tableau que, pendant 6 heures, 2 générateurs ont vaporisé une moyenne de $\frac{50,445 + 40,525}{2} = 45,485$ kg. d'eau prise à la

température de 0° , soit pour un générateur et pendant une heure.

$$\frac{45\,485}{2 \times 6} = 3\,790 \text{ kg.}$$

Pour les 12 générateurs, pendant 24 heures, on aurait obtenu $3\,790 \times 12 \times 24 = 1\,091\,520 \text{ kg.}$, chiffre supérieur de 391.520 kg. à celui prescrit (700.000), soit environ 40 % en plus.

Nous aurons l'occasion de revenir sur les générateurs Niclausse dans un des chapitres suivants, à propos des appareils qui ont été simplement exposés dans les Palais et en particulier pour les chaudières du type marine.

Générateurs Paucksch.

La Société anonyme Paucksch à Landsberg-sur-Warthe (Allemagne), présentait à l'usine Suffren une chaudière du système Cornwall, admise pour une production 1 950 kg. de vapeur à l'heure.

La surface de chauffe étant de 100 m² et la surface de grille 3^{m²}, il en résulte une vaporisation moyenne admise de 19^k,5 d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Les dessins de la *Pl. 21* donnent les détails de construction de cette chaudière.

En réalité, ce générateur se compose de deux chaudières accolées du type Cornwall, à tubes échelonnés et à muraillement spécial. Chacune d'elles comprend : un corps cylindrique de 1^m,700 de diamètre et 9^m,300 de longueur, et un tube intérieur, de diamètre variable, dans lequel se trouve placé le foyer.

A l'avant, c'est-à-dire à l'emplacement du foyer, ce tube a un diamètre de 900 mm. et le diamètre le plus faible des sections qui suivent est de 700 mm. Le corps cylindrique et le tube intérieur sont complétés par un dôme de prise de vapeur, de 600 mm. de diamètre et 900 mm. de hauteur.

Les deux chaudières sont enveloppées d'une maçonnerie commune ; les gaz de la combustion passent d'abord à travers les tubes intérieurs, ils se réunissent à l'arrière et reviennent à l'avant dans un carreau unique ; là, ils se séparent à droite et à gauche pour se rendre séparément au grand collecteur de la cheminée par deux carreaux latéraux.

Le tube intérieur, qui faisait auparavant l'objet d'un brevet allemand, aujourd'hui expiré, est constitué par des viroles cylindriques de

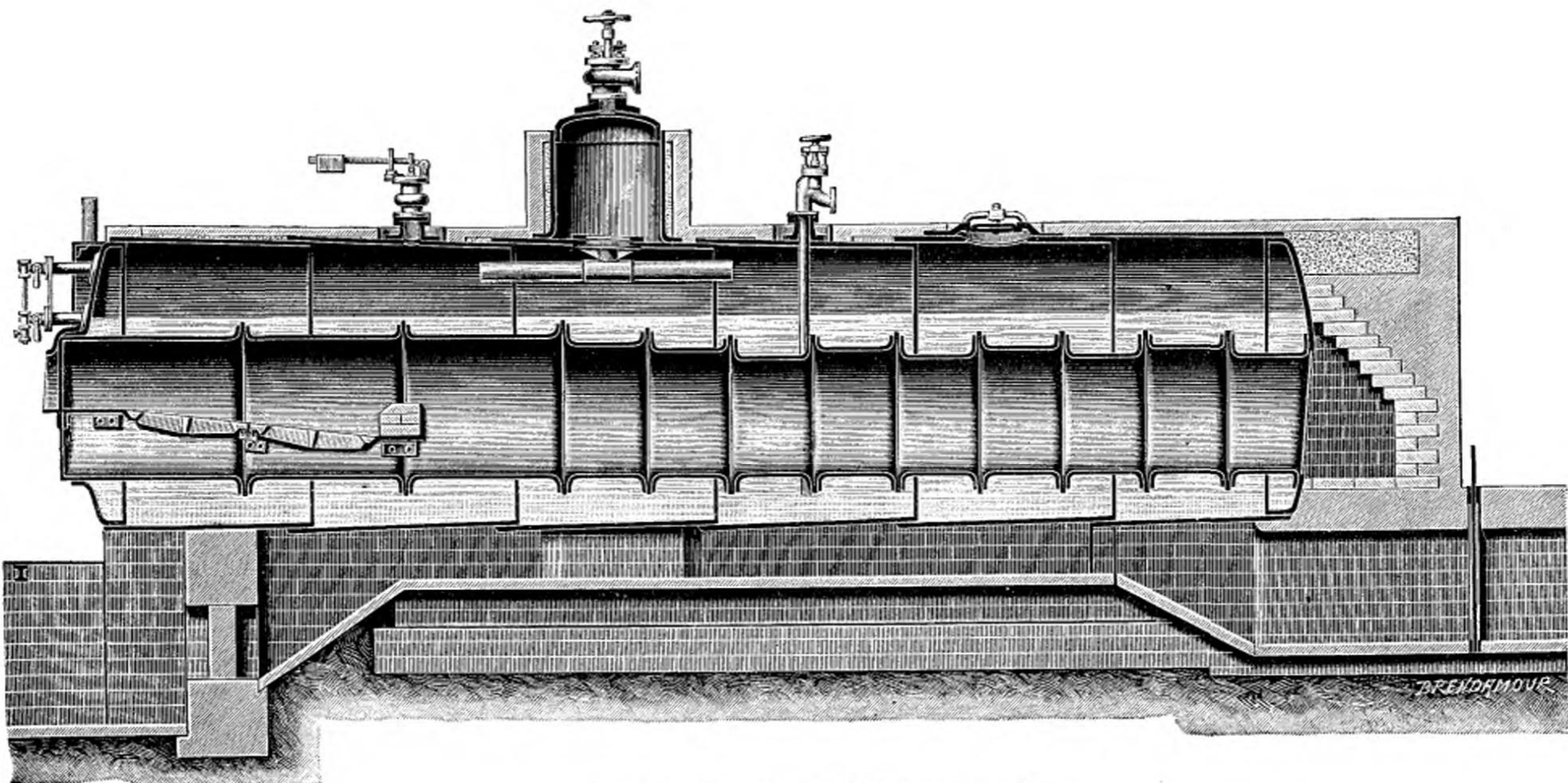


Fig. 63. — Chaudière Paucksch, type Cornwall.

611 mm. de longueur, auxquelles se joignent, derrière l'autel, des viroles de 400 mm. de longeur dont les diamètres varient de 50 en 50 mm., diminuant d'abord jusqu'au diamètre minimum pour augmenter et diminuer ensuite alternativement aux dimensions de 750 et 700 mm.

Ces viroles sont soudées à la couture longitudinale, courbées à la presse hydraulique vers l'extérieur et rivées l'une à l'autre au moyen d'anneaux intermédiaires en fer plat, disposés de façon que la génératrice inférieure du tube soit horizontale tandis que la génératrice supérieure forme une série de gradins correspondants aux différences de diamètre dont nous avons parlé.

Cette construction spéciale permet d'opposer une résistance remarquable à la pression extérieure et assure une grande élasticité pour la dilatation longitudinale. De plus, elle a l'avantage de n'exposer aucun rivet aux flammes.

La résistance à la pression extérieure a été nettement confirmée par la pratique ; dans plusieurs installations où les chaudières ont fonctionné longtemps avec une quantité d'eau insuffisante, il ne s'est produit que des petites bosses insignifiantes entre les brides des viroles des tubes, alors que les brides elles-mêmes ne subirent aucune détérioration et qu'il ne fût pas nécessaire de mettre les générateurs hors feu.

La forme échelonnée des viroles constituant les tubes produit un brassage énergique des gaz ; leur efficacité sur la surface de chauffe en est d'autant plus grande et toute leur chaleur se communique à la masse d'eau. On obtient ainsi une combustion complète et on n'aperçoit à la cheminée que très peu de fumée.

Ces chaudières donnent en général une vaporisation de 26 kg. d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure, pour les petites chaudières. Ce chiffre atteint 40 kg. pour les grandes.

Il en résulte un rendement de 66 à 70 % pour les premières et de 72 à 75 % pour les secondes.

Ces chaudières, établies suivant le principe de celle qui fonctionnait à l'usine Suffren, permettent d'obtenir un effet utile considérable dans un espace assez restreint, leur diamètre étant relativement faible pour les hautes pressions.

La Société Paucksch construit des générateurs de ce système jusqu'à 120 m² de surface de chauffe, pour une pression de 13 atmosphères, avec foyer unique intérieur de 12 à 60 m².

Plus de 1600 chaudières à tubes échelonnés, correspondant à

85.000 m² de surface de chauffe, ont été jusqu'à ce jour livrées à l'Industrie, et elles fonctionnent toutes dans d'excellentes conditions.

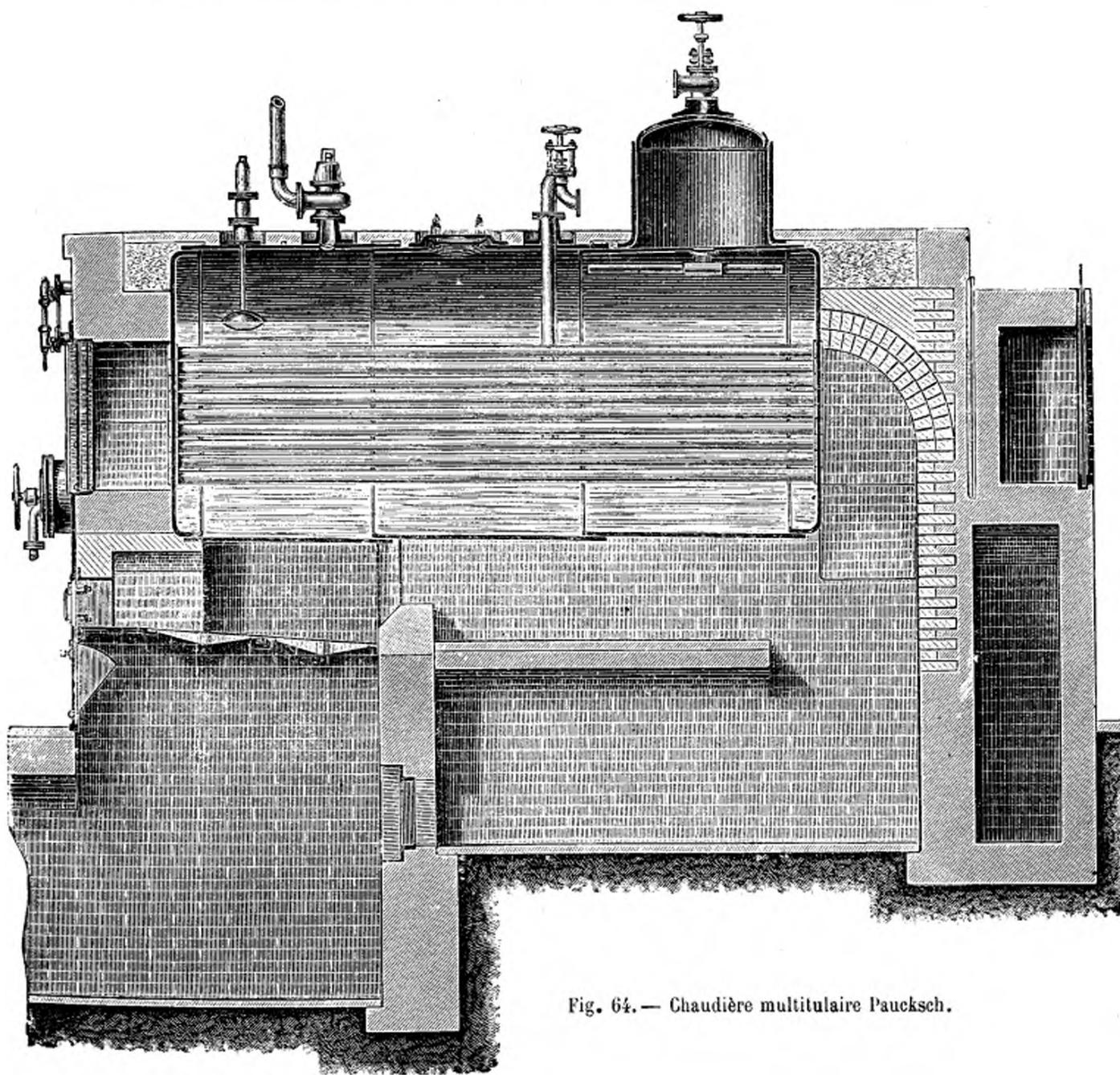


Fig. 64.— Chaudière multitubulaire Paucksch.

On construit également, dans les ateliers de Landsberg-sur-Warthe, des chaudières à vapeur multitubulaires, du modèle représenté par la gravure ci-contre, qui donnent un rendement effectif de 70 à 75 %.

Générateurs Petry-Dereux

La maison Petry-Dereux, de Düren (Allemagne), a installé à l'usine

Suffren une chaudière multitubulaire qui a été admise pour une production de 3 720 kg. de vapeur à l'heure.

Cette chaudière a une surface de chauffe de 303 m² et une surface de grille de 6^{m^2},20, de sorte que la vaporisation moyenne par mètre carré de surface de chauffe était de 12^k,3 d'eau par heure.

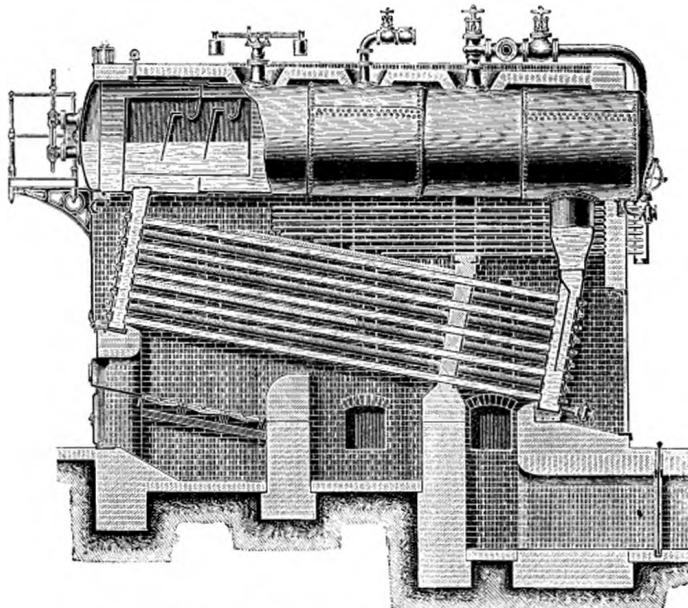


Fig. 63. — Chaudière multitubulaire Petry-Dereux.

Description et fonctionnement. — La chaudière multitubulaire du système Petry-Dereux se compose d'un faisceau tubulaire, de deux chambres d'eau et d'un réservoir d'eau et de vapeur.

Les chambres d'eau ou caissons sont adaptées directement au réservoir supérieur par une rivure, sans raccords boulonnés, parce que ces derniers perdent facilement leur étanchéité.

Les ouvertures ménagées pour l'introduction des tubes sont fermées au moyen de couvercles en forme de cuvettes, introduits par l'intérieur. Les couvercles ont un bord creux, formant ressort, qui suit toutes les légères modifications de forme produites par l'échauffement de la tôle. L'étanchéité est alors absolue, sans intervention de matière étrangère, métal sur métal.

Les parois minces des tubes laissent facilement passer la chaleur. Elles garantissent, par conséquent, l'utilisation du combustible la plus

économique possible. Les chaudières sont d'ailleurs munies de foyers spéciaux, suivant la nature du combustible que l'on emploie.

Les deux caissons sont très larges, afin de présenter une grande section de passage pour la circulation de l'eau. De cette façon, les tubes inférieurs sont suffisamment refroidis et ne peuvent se cintrer ou se détériorer.

De plus, le caisson postérieur est muni d'une cloison brevetée allant jusqu'aux tubes inférieurs et amenant directement l'eau froide à ces tubes, les plus exposés de tous ceux du faisceau.

La chaudière possède un réservoir d'eau et de vapeur de grand volume, afin que la vapeur soit toujours sèche et à pression constante, même dans le cas d'un appel très énergique. Sur les chaudières de puissance élevée, on dispose même, dans ce but, deux corps cylindriques au lieu d'un. Dans le réservoir, se trouve placé un séparateur d'eau et de vapeur. Cet appareil, muni à la partie supérieure de cloisons en forme de chevrons, oblige la vapeur à modifier brusquement sa direction, plusieurs fois de suite, de façon qu'elle puisse se séparer, en vertu des lois de l'inertie, des particules d'eau qu'elle a entraînées. Ce système donne les meilleurs résultats et contribue à produire de la vapeur absolument sèche.

Nettoyages et réparations. — L'application d'un jet de vapeur permet d'enlever facilement la suie qui couvre les tubes ; on maintient ainsi l'activité énergique des surfaces de chauffe. Le nettoyage intérieur des tubes se fait au moyen d'instruments spécialement réservés à cet usage.

L'emploi de ces chaudières est tout indiqué quand les emplacements dont on dispose sont restreints et que l'on désire une haute pression de vapeur. On peut remplacer en très peu de temps, et sans la moindre difficulté, un tube qui aurait une fuite, alors que dans les chaudières cylindriques le remplacement d'une tôle à feu provoque des arrêts fort longs.

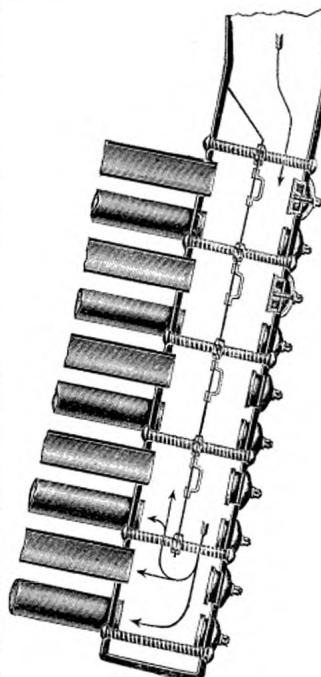


Fig. 66.

Sécurité.— Si le niveau d'eau de la chaudière tombait, au point que le réservoir supérieur soit à sec, celui-ci ne pourrait pas faire explosion, parce que la température des gaz du foyer, qui ont déjà passé par les tubes, est trop basse pour chauffer les tôles au rouge.

Quant aux tubes, il n'y a pas de manque d'eau à craindre, et même si ce cas extraordinaire se présentait, la déchirure locale d'un tube serait sans grande importance, le peu d'eau que la chaudière contiendrait alors n'ayant qu'une force d'expansion très réduite.

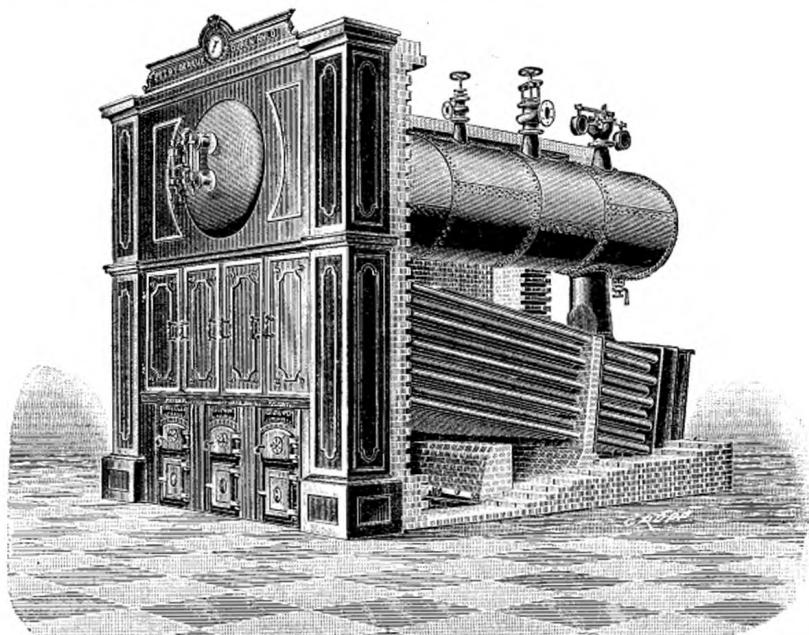


Fig. 67. — Façade de chaudière Petry-Dereux.

Les chaudières Petry-Dereux sont généralement munies de surchauffeurs de vapeur du même constructeur ; nous aurons l'occasion d'en parler au chapitre de ces appareils spéciaux.

Chaudière à grand volume d'eau système Mac-Nicol.

La maison Petry-Dereux construit également la chaudière à grand volume d'eau du système Mac-Nicol.

La chaudière Mac-Nicol est une combinaison de la chaudière cylindrique à grand volume d'eau et de la chaudière multitubulaire. Elle réunit les avantages des deux systèmes.

Sa grande capacité d'eau équilibre, tout comme un accumulateur de force, les irrégularités d'un service variable. Sa grande surface de vaporisation et sa grande chambre de vapeur garantissent l'obtention de la vapeur sèche.

La chaudière Mac-Nicol présente les avantages suivants des chaudières multitubulaires : haute pression de vapeur, grande surface de chauffe, développement rapide de la vapeur et utilisation économique du combustible.

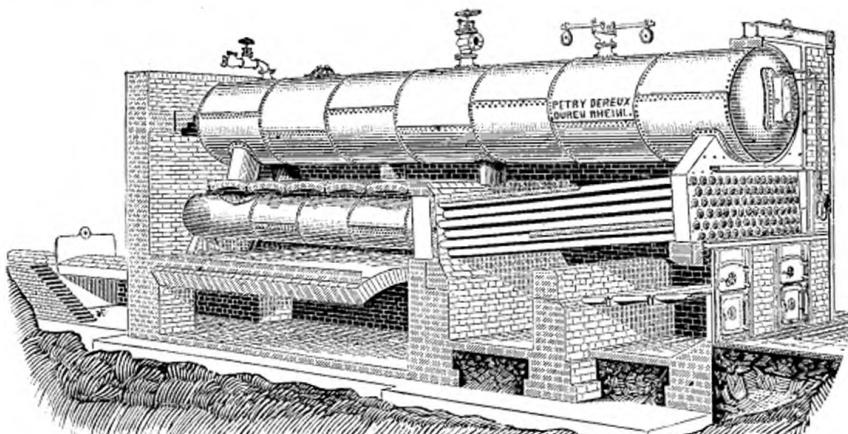


Fig. 68. — Chaudière Petry-Dereux, système Mac-Nicol.

Le caisson à eau antérieur du faisceau tubulaire est raccordé directement, par une rivure, au corps cylindrique supérieur. Sur les très grandes chaudières, on place deux corps cylindriques.

Le caisson à eau postérieur forme en même temps la tête des bouilleurs, qui sont réunis à leur extrémité par de très larges chapeaux à la chaudière supérieure. Entre le caisson postérieur et la chaudière supérieure, on place un tube de raccord, qui a pour but unique d'entraîner la vapeur qui se forme dans les bouilleurs.

Un des grands avantages de la chaudière Mac-Nicol réside dans l'épaisseur des tôles, qui est relativement faible, même pour des pressions très élevées. Dans la chaudière à foyer intérieur, au contraire, les tôles sont souvent d'une telle épaisseur que le combustible est utilisé d'une façon peu économique.

Le danger d'explosion est évité pour les mêmes raisons exposées précédemment, à propos de la chaudière Petry-Dereux. Le nettoyage des tubes et l'enlèvement des dépôts que forment les matières incrustantes s'opèrent de la même façon que dans cette chaudière.

Générateurs Petzold.

La Société Petzold et Cie, d'Inowrazlaw (Allemagne), a installé, à l'usine Suffren, une chaudière types « Cornwall » et « tubulaire » combinés, qui a été admise par le Comité technique des machines pour une production de 2 160 kg. de vapeur à l'heure.

Cette chaudière a 250 m^2 de surface de chauffe et $3^{m^2},60$ de surface de grille, de sorte que la vaporisation moyenne admise était de $8^{k},7$ d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Nous reproduisons, *Pl. 22*, les dessins relatifs à ce générateur.

Il se compose d'une chaudière cylindrique à double foyer intérieur et d'une chaudière tubulaire superposée à la première, toutes deux construites pour une pression de marche de 12 kg.

La chaudière inférieure a un diamètre de $2^{m},300$ et une longueur de 6 m. ; elle renferme deux tubes à ailettes système « Morison » de 800/900 mm. de diamètre et les ondes des ailettes ont une largeur de 202 mm.

La chaudière tubulaire supérieure a un diamètre de $2^{m},400$ et une longueur de $5^{m},350$; elle contient un faisceau tubulaire composé de 78 tubes « Mannesmann » de $94,5/102$ mm. de diamètre, avec 22 tubes à ancre de $89/105$ mm. de diamètre qui servent à soutenir les fonds. Tous ces tubes sont noyés et transmettent à l'eau qui les baigne la chaleur des gaz qui les traversent.

L'eau d'alimentation arrive ainsi dans la chaudière inférieure après avoir été chauffée graduellement et les variations subites de température se trouvent évitées.

Les foyers sont à grilles horizontales. Les châssis des portes de foyer sont disposés de telle sorte qu'une partie de l'air nécessaire à la combustion monte par des conduits spéciaux, dans lesquels il s'échauffe avant d'arriver sur la grille. On obtient ainsi une utilisation plus complète du combustible puisque la combustion est augmentée. Les châssis de portes à feu et les portes se refroidissent simultanément.

Par suite des grandes dimensions des chambres de vapeur, le générateur produit une vapeur très sèche et permet une mise en pression rapide.

Les deux chaudières, inférieure et supérieure, sont munies de contrôleurs, d'indicateurs de niveau et tous appareils habituels, facilement accessibles, en ce qui concerne ceux de la chaudière supérieure, au moyen d'un escalier et d'une plate-forme.

Le nettoyage du générateur et en particulier des tubes, est très simple en raison de la bonne disposition des portes et des écoutilles.

Les chaudières sont construites en tôle d'acier Martin Siemens, de 3 600 kg. environ de résistance et de 23 0/0 d'allongement. Les fonds sont emboutis ; le rivetage est double dans les coutures circulaires et les coutures longitudinales sont rivées comme les éclisses doubles.

Seuls, les tubes à ailettes et le dôme sont reliés aux fonds et au corps cylindrique avec des joints simples.

Toutes les rivures sont faites à la presse hydraulique ; les matages sont obtenus au marteau pneumatique.

Le dôme et l'étrésillon intermédiaire sont soudés sur toute la longueur.

Les tubes bouilleurs sont des tubes en acier « Mannesmann » sans soudure.

Les étrésillons particuliers aux soupapes et aux appareils de niveau d'eau sont en acier fondu.

Générateurs Roser.

La batterie de M. Roser, constructeur à Saint-Denis, comportait à l'usine La Bourdonnais six chaudières multitungulaires admises par le comité technique des machines pour une production horaire de 20 000 kg. de vapeur.

Chaque chaudière, de 260 m² de surface de chauffe et 3^{m2,84} de surface de grille, était donc capable de donner 3333 kg. de vapeur à l'heure, ce qui correspond à une vaporisation de 12^k,8 d'eau par mètre carré de surface de chauffe.

La chaudière multitungulaire de M. Roser est bien connue et nous ne nous étendrons pas longuement sur le type qui était en fonctionnement à l'Exposition.

Nous rappellerons seulement que le constructeur n'a jamais eu la prétention de créer un nouveau modèle de générateur, mais bien de pousser jusqu'aux dernières limites les perfectionnements de son modèle de 1889. Nous aurons l'occasion d'examiner avec plus de détail, dans le chapitre réservé aux générateurs exposés à l'état inerte, deux chaudières du même constructeur présentant quelques particularités intéressantes.

La chaudière Roser à tubes simples (voir Pl. 23) se compose d'un faisceau tubulaire incliné communiquant à sa partie supérieure

avec un réservoir d'eau et de vapeur M, et à sa partie inférieure avec un cylindre bouilleur N appelé hydro-déjecteur.

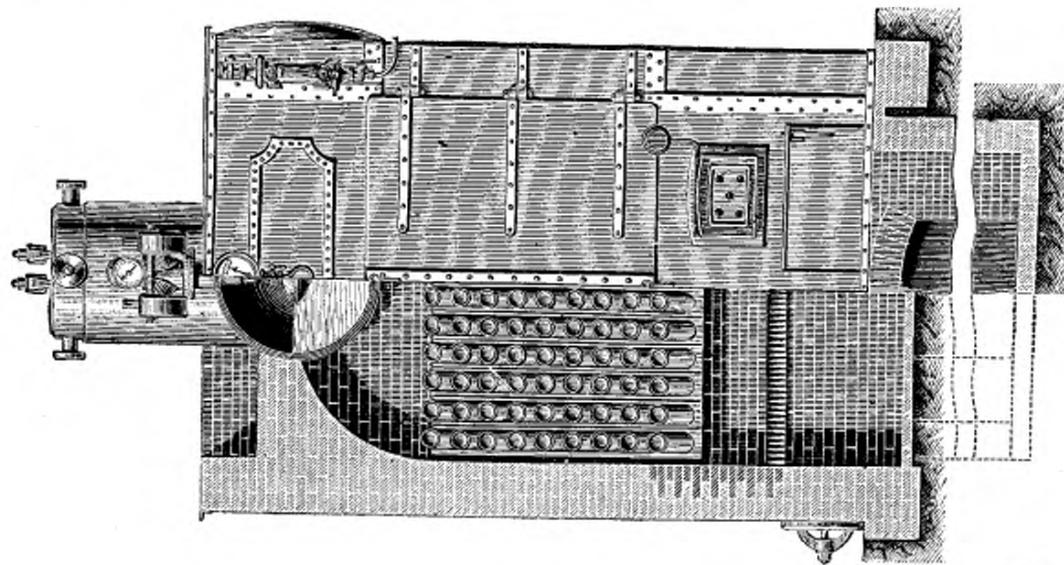


Fig. 70. — Coupe transversale et façade.
Chaudière Roser à tubes simples.

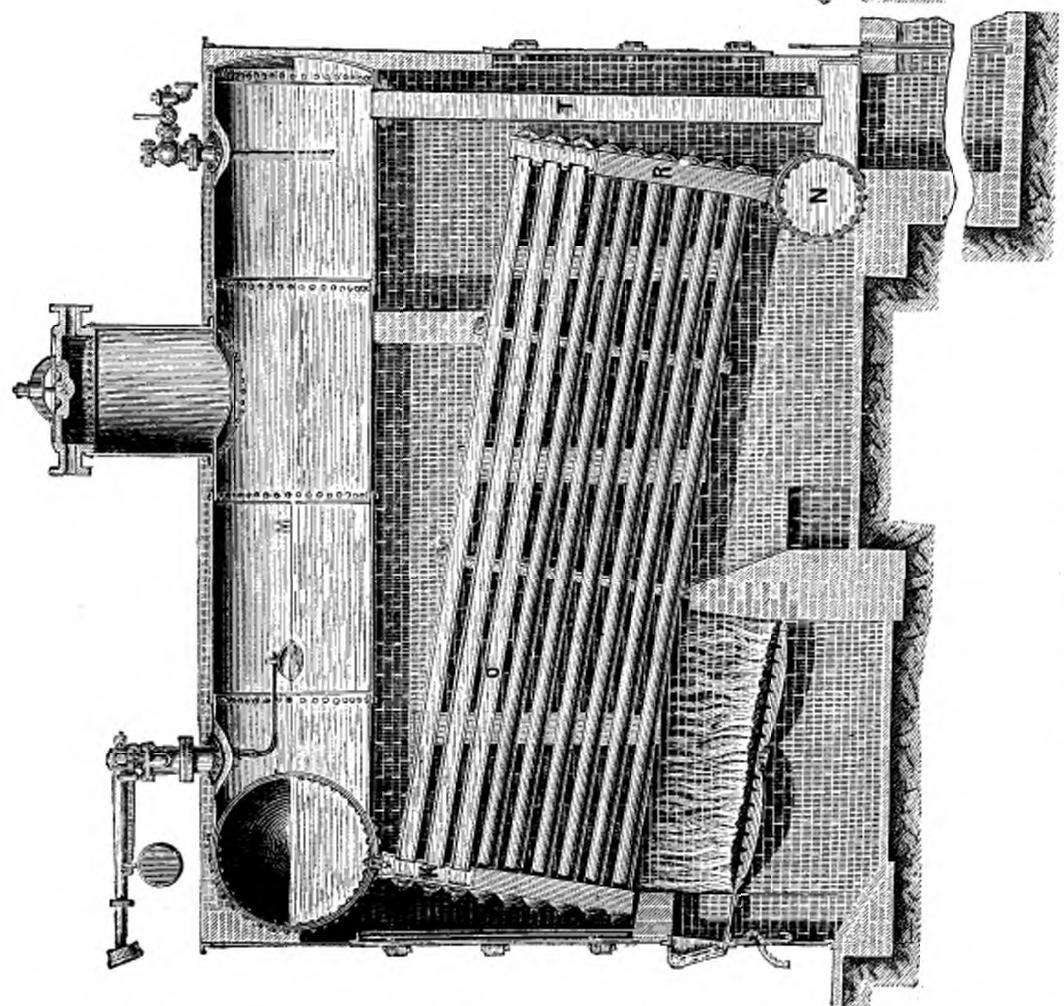


Fig. 69 — Coupe longitudinale.
Chaudière Roser à tubes simples.

Le faisceau tubulaire est constitué par la réunion d'un certain nombre de séries verticales ou éléments de tubes. Chacun de ces éléments com-

prend plusieurs tubes bouilleurs O reliés entre eux et à leurs extrémités par deux collecteurs rectangulaires R en fer forgé et soudé. Sur la face extérieure de ces collecteurs et devant chaque tube bouilleur, se trouve une ouverture destinée au nettoyage du tube. Cette ouverture est fermée par un bouchon conique, de l'intérieur à l'extérieur, de telle sorte que l'étanchéité augmente avec la pression.

Chaque élément débouche directement dans le réservoir d'eau et de vapeur ; la vapeur se dégage sans difficulté. Les assemblages des collecteurs verticaux au réservoir supérieur et à l'hydro-déjecteur sont faits métal sur métal, au moyen de bagues biconiques.

Le réservoir cylindrique supérieur M est construit en tôle de qualité extra à double rivure. Afin de lui donner la plus grande capacité possible, il est de grand diamètre et se compose de deux branches en forme de T. De plus, il est surmonté d'un dôme, en vue de fournir de la vapeur très sèche.

L'hydro-déjecteur F a pour but de recevoir les dépôts calcaires provenant de la circulation de l'eau ; ces dépôts sont extraits au moyen d'un robinet de vidange placé sur le collecteur de boues.

Le retour de l'eau du réservoir supérieur vers l'hydro-déjecteur se fait par un gros tube de circulation T reposant sur un cuissard rivé au déjecteur.

Montage. — Le montage est absolument indépendant de la maçonnerie, de telle sorte que celle-ci peut être réparée ou même enlevée sans qu'il soit nécessaire de toucher à la chaudière.

Toutes les armatures, garnitures, appareils, tels que soupapes de sûreté, flotteur, manomètre, robinets, etc., sont d'un modèle fort, étudié spécialement pour cette chaudière.

Les devantures avant et arrière couvrent entièrement les maçonneries et sont en tôle de fer, au lieu de fonte, donnant ainsi un meilleur aspect et évitant les criques qui se produisent souvent dans les devantures en fonte.

Fonctionnement. — La grille étant placée sous le faisceau tubulaire, la flamme et les produits de la combustion traversent d'abord une partie de la longueur des tubes et se rendent dans une chambre de combustion où, en présence des briques chauffées à blanc, les gaz qui se sont éteints se rallument pour continuer ensuite leur parcours à travers le faisceau tubulaire divisé en trois compartiments.

L'eau contenue dans les tubes s'élève en vertu de sa diminution de densité. À mesure que se forme la vapeur, le mélange de cette vapeur

avec l'eau non vaporisée ayant un poids spécifique moindre que l'eau arrivant à l'arrière, monte vers le réservoir supérieur où la vapeur se dégage ; l'eau refoulée à l'arrière redescend par le tube de retour d'eau dans l'hydro-déjecteur qui distribue alors à chaque élément l'eau qu'il reçoit.

On remarquera que les tubes qui seront les premiers alimentés sont ceux des rangées inférieures qui vaporisent le plus ; cette disposition, très coûteuse il est vrai, assure une circulation certaine, même forcée, évitant le remplacement de tubes qui deviennent hors de service par suite de coups de feu provenant d'une circulation mal établie.

Cette circulation très rapide produit un mélange parfait de l'eau dans toutes les parties de la chaudière, amenant ainsi dans l'appareil une température uniforme et permettant d'utiliser le calorique de la manière la plus avantageuse.

De plus, la circulation empêche la formation de dépôts ou d'incrustations, car les matières calcaires précipitées sont immédiatement entraînées et déposées dans l'hydro-déjecteur, d'où elles sont facilement extraites.

Le dôme se trouve placé vers l'arrière du réservoir ; les prises de vapeur sont ainsi éloignées du niveau de l'eau et du point de dégagement de la vapeur formée dans le faisceau tubulaire ; cette disposition offre les meilleures conditions pour que l'entraînement d'eau soit supprimé.

Nous avons dit que le Comité technique des machines n'avait accepté, pour les batteries des usines Suffren et La Bourdonnais, que des générateurs d'un type ayant déjà fonctionné et présentant les garanties nécessaires de sécurité pratique pour le service de la force motrice.

Les chaudières de M. Roser remplissaient largement ces conditions, étant donné le nombre d'unités répandues aujourd'hui dans toutes les industries.

Nous donnons ci-dessous le tableau des modèles construits d'une façon courante par la maison Roser, avec les renseignements nécessaires sur leur établissement et leur capacité productive.

N° série de chaudière	Production de vapeur sèche par heure	SURFACE DE CHAUFFE		EMPLACEMENT			CAPACITÉ	POIDS	SURFACE de GRILLE	CUBE de la MAÇONNERIE
		Tubulaire	Totale	Longueur	Largeur	Hauteur				
30	155	10,04	11,24	2,870	1,100	1,930	0,786	2 350	0,30	3,000
31	200	12,75	14,75	3,200	1,190	2,400	1,428	3 800	0,44	4,097
32	245	17,13	19,64	3,980	1,430	2,370	1,833	4 450	0,59	7,523
33	318	11,42	22,70	4,140	1,430	2,660	1,995	4 900	0,64	8,621
34	378	25,70	27,00	4,100	1,430	2,830	2,117	5 100	0,64	8,981
35	462	31,10	33,00	4,620	1,600	2,830	2,977	5 900	0,80	10,545
36	546	37,32	39,00	4,600	1,600	2,960	3,162	6 400	1,00	10,749
37	700	47,49	50,00	5,280	1,650	3,250	4,478	7 700	1,10	13,366
38	826	56,98	59,00	5,280	1,830	3,250	4,878	8 450	1,25	13,917
39	952	66,00	68,00	5,250	1,830	3,400	5,069	9 150	1,25	14,371
40	1 120	77,00	80,00	5,400	2,010	3,620	7,504	11 250	1,72	15,905
41	1 218	84,00	89,00	5,780	2,010	3,700	8,015	11 900	1,91	17,567
42	1 400	96,00	100,00	5,750	2,010	3,880	8,389	12 550	2,02	18,351
43	1 596	110,00	114,00	5,750	2,190	3,900	8,924	13 800	2,39	19,353
44	1 792	124,00	128,00	5,750	2,370	3,860	9,444	14 600	2,64	18,735
45	2 002	140,00	144,00	5,800	2,370	4,130	10,943	16 300	2,72	20,411
46	2 212	155,00	159,00	5,800	2,550	4,100	11,569	17 400	2,97	20,717
47	2 450	171,00	175,00	5,800	2,730	4,150	12,297	18 650	3,33	21,539
48	2 690	186,00	186,00	5,800	2,910	4,150	12,998	19 850	4,00	22,215
49	2 940	202,00	210,00	5,800	3,400	4,150	13,365	21 000	4,44	23,856

Générateurs Solignac, Grille et C^{ie}.

MM. Solignac, Grille et C^{ie}, Paris, ont installé à l'usine La Bourdonnais un générateur du système Solignac qui a été admis par le Comité technique des machines pour une production de 1 150 kg. de vapeur à l'heure. La surface de chauffe correspondante étant de 36 m², il en résulte que la vaporisation admise par mètre carré de surface de chauffe et par heure est de 31^{k,9}.

Le générateur imaginé par M. Solignac est d'un système nouveau, sur lequel nous nous proposons de donner toutes les explications utiles. Pour bien faire comprendre les avantages que présente cette chaudière, il est nécessaire d'exposer les expériences qui ont été faites par M. Solignac, pour établir le principe de la circulation dans les générateurs de vapeur, qu'il a été conduit à admettre comme base de son système.

Nous rappellerons pour mémoire les expériences antérieures de Williams, de Perkins, de Field et de Bellens qui ont servi à édifier les différentes théories admises jusqu'à ce jour, pour nous occuper immédiatement de celles de M. Solignac.

On réunit deux flacons à tubulures A et B par un tube en fer de 6 mm. de diamètre. Les deux tubulures A et B étant dans un même

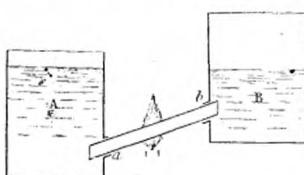


Fig. 71.

plan horizontal, si on chauffe le tube dans sa partie centrale, le niveau est le même dans les deux vases; la vapeur se dégage également par les deux extrémités du tube, puis le tube rougit rapidement dans la partie chauffée jusqu'à ce que l'eau envahisse brusquement

le tube et le refroidisse. Dans les premiers temps de l'expérience, quand l'eau est froide, on entend un claquement sec au moment de son arrivée brusque; le tube, s'il a une certaine longueur, 0^m,50 environ, se cintre d'un coup en présentant sa courbure vers le haut; enfin, la température de l'eau s'élève également dans les deux vases.

Si on donne au tube une pente, inférieure pour sa longueur totale à son diamètre, les effets sont à peu près les mêmes.

Si, au contraire, on augmente cette pente et si elle dépasse en valeur absolue le diamètre du tube, on voit le dégagement de vapeur se faire par la partie haute du tube; l'eau des deux vases s'échauffe; mais celle du vase le plus élevé s'échauffe plus que celle du vase inférieur. Le niveau reste dans le même plan pour les deux vases. Le dégagement de

vapeur à la partie supérieure du tube est continu, mais avec des périodes d'intensité très variables ; si on suspend par un fil un volet léger devant l'orifice, on le voit attiré ou repoussé suivant que le dégagement est plus ou moins actif. L'extrémité plongeant dans le vase du bas ne laisse qu'accidentellement échapper la vapeur ; mais on voit une veine liquide d'aspect sirupeux s'en échapper continuellement avec des périodes variables d'intensité.

Si on place un diaphragme pour étrangler l'extrémité inférieure du tube, les phénomènes changent immédiatement. La vapeur s'échappe d'une façon continue et régulière par l'extrémité opposée du tube et celui-ci ne rougit plus ; le vase, côté du diaphragme, reste froid, la température de l'eau dans l'autre vase augmente rapidement ; enfin on voit l'eau s'abaisser dans le vase A et s'élever de même quantité dans le vase B, au point d'obtenir ainsi une dénivellation qui atteint 20 mm. entre les surfaces des liquides dans les deux vases.

Cette dénivellation dépend de l'inclinaison donnée au tube ; on arrive à un écart de 0^m,02 avec une pente de 0^m,05 par mètre.

Dans le même ordre d'idées, il a été fait une deuxième série d'expériences. On prend un vase à tubulure dans laquelle on engage un tube en fer très mince, et à l'aide d'un second en caoutchouc et d'un tube en verre, on ramène le circuit au-dessus du plan d'eau du vase. Le tube étant incliné, on le chauffe en un point quelconque ; on voit après quelques secondes le tube rougir dans la partie chauffée ; les deux tronçons, situés de part et d'autre de la flamme, sont à une température élevée au point qu'on ne peut y appliquer la main ; le niveau de l'eau dans la partie courbe du circuit tubulaire oscille de part et d'autre du plan horizontal A B, passant par le plan d'eau du vase ; la vapeur se dégage uniquement par l'extrémité du tube immergée dans le vase, et au bout de quelques secondes le tube rougit. Quelquefois une rentrée brusque d'eau s'opère et refroidit le tube, surtout quand la masse d'eau est froide ; mais après deux ou trois rentrées, le tube reste rouge et atteint même le rouge blanc si on le chauffe au feu d'un chalumeau.

Dans le tube de retour, en verre, qui se trouve à la partie supérieure, s'il vient à se créer des bulles d'air alternant avec des tronçons liquides, on voit le chapelet ainsi formé animé d'un mouvement de va-et-vient.

En augmentant l'inclinaison d'une façon exagérée, le tube en fer ne

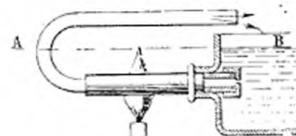


Fig. 72.

rougit plus, les dégagements de vapeur et d'eau se font par le tube en verre à intervalles très éloignés ; les dégagements de vapeur par l'extrémité immergée ont lieu alternativement avec des rentrées brusques d'eau ; le tube en fer est très chaud de part et d'autre de la flamme et la coloration de la partie plongée dans la flamme indique qu'en ce point le tube est porté à une haute température.

Lorsque le tube est rouge, si on place, à l'intérieur du vase un diaphragme étranglant l'orifice du tube à son extrémité immergée, on voit alors, au bout de quelques secondes, le tube en verre servant de retour cracher une quantité d'eau provenant de la purge de la partie coudée du circuit tubulaire ; le dégagement de vapeur s'établit ensuite régulièrement.

Simultanément, le tube, présentant une portion rouge avec deux parties de teinte dégradée, noircit du côté du diaphragme suivant une ligne très nette qui gagne rapidement toute la section surchauffée jusqu'à ce qu'elle la ramène au noir. La section du tube entre la flamme et le vase se refroidit et se trouve ramenée à la température de l'eau du vase ; le restant du circuit tubulaire conserve la température de la vapeur, qui sort d'une façon continue à l'extrémité du tube en verre en entraînant avec elle les parties d'eau non vaporisées, d'ailleurs en faible quantité.

Après une minute de marche dans ces conditions, on peut, en retirant brusquement la flamme, prendre entre les doigts la partie du tube initialement rouge ; on constate qu'elle est non seulement à une température inférieure à celle du coude, mais qu'elle ne dépasse pas 40 à 50°, c'est-à-dire une température inférieure à celle de la vaporisation.

La température d'un tube où la circulation se fait dans les conditions qui viennent d'être indiquées, est du reste assez basse pour que, même dans une application industrielle sur une chaudière produisant 1 200 kg. de vapeur et basée sur ce principe, on ait pu maintenir pendant plusieurs semaines de l'étain sur les tubes soumis au coup de feu.

En général, on donne comme explication de la circulation dans les circuits tubulaires, la différence de poids des colonnes. En appliquant cette hypothèse à un tube en U, on suppose que la branche chauffée étant plus légère que la branche froide, cette dernière pousse la colonne de plus faible densité. Quelques constructeurs croient même que la densité de cette colonne se trouve encore diminuée par la présence des bulles de vapeur qui sont charriées dans la veine fluide. M. Bellens a réfuté cette conception par une simple comparaison : « S'il suffisait d'immerger un corps plus léger que l'eau dans une colonne liquide,

pour faire varier sa pression hydrostatique, on pourrait concevoir », dit-il, « une machine élévatoire constituée uniquement par un chapelet de boules de liège immergées dans une colonne d'eau. Ce serait le mouvement perpétuel ! »

Il est évident qu'on ne peut partir de là pour refuser toute circulation aux chaudières tubulaires, puisque, dans les expériences précédentes, la circulation se révèle très apparente ; si elle est plus restreinte dans les chaudières industrielles, c'est que leur construction s'éloigne du tube en U théorique.

Nous avons vu que le dégagement de vapeur dans un tube avait toujours lieu entre deux points offrant d'inégales résistances à son expansion ; en fait, il se produit du côté de l'orifice de plus faible résistance, en prenant un point d'appui, pour vaincre la difficulté de dégagement, sur la résistance supérieure opposée. Ce dégagement est d'autant plus rapide que la différence de résistance est plus grande.

Les résistances peuvent être de différentes natures ; elles proviennent généralement d'une différence de section, d'une différence de densité de fluide, d'une différence de charge d'eau, de la présence de poches de vapeur.

Quelquefois, ces différents genres de résistances s'ajoutent, quelquefois ils se retranchent, mais c'est toujours la résultante finale qui détermine le sens de dégagement de la vapeur, indépendamment de l'inclinaison du tube.

Examinons ces différentes causes de résistances.

La différence de section entre les deux extrémités d'un circuit vaporisateur se rencontre souvent. Dans les chaudières tubulaires, les tubes vaporiseurs partent souvent en quantité d'un collecteur général pour se rendre à un ballon supérieur et, de là revenir au collecteur par un tube de retour dont la section est toujours de beaucoup inférieure à la section totale du faisceau vaporisateur. Le point de plus grande résistance dans ce cas est donc le tube de retour, et le point de moindre résistance l'extrémité de dégagement des tubes du faisceau vaporisateur ; il y aura donc déplacement dans le sens du tube de retour au ballon en passant par le faisceau tubulaire, ce qui est la direction normale.

Dans d'autres cas, cette résistance en tête du faisceau tubulaire est constituée par des pièces de connexion qui relient les tubes au collecteur d'aménée d'eau. Dans les tubes Field, par exemple, l'eau est amenée au fond du tube par un petit conduit central qui joue le rôle de tuyère ;

ce tube a en général 25 mm. de diamètre tandis que le tube extérieur a 60 mm.

Les différences de densité jouent également un rôle considérable au point de vue de la création de ces résistances nécessaires à la détermination du sens des mouvements dans le tube.

Pour la vapeur comme pour l'eau, les pertes de charge par unité de longueur sont proportionnelles aux densités et au carré des vitesses, en négligeant les coefficients, fort discutés, surtout pour la vapeur. Cela revient donc à dire que les pertes de charge sont plus grandes dans les portions les moins chauffées et que le fluide contenant le plus de bulles de vapeur est celui qui circulera le plus vite. En partant de ce principe, la démonstration des tubes en U devient rationnelle, car, si la présence des bulles de gaz au sein d'une colonne liquide ne modifie pas sa réaction hydrostatique, elle modifie la masse de ce liquide à mettre en mouvement par unité de longueur et, par conséquent, elle diminue la perte de charge.

Il n'est donc pas surprenant que les expériences antérieures aient favorisé la théorie de la circulation par différence de densité, puisque la véritable cause du déplacement est due souvent à cette même différence de densité. Seulement, dans cette théorie, on considérait cette action comme due aux différences de poids, tandis que nous estimons qu'elle est due aux différences de perte de charge.

La troisième cause de différence de charge peut provenir d'une différence de hauteur d'eau ; cette situation ne se rencontre, en général, que d'une façon intermittente ; elle se reproduit à intervalles réguliers plus ou moins rapprochés.

La dernière cause de résistance à l'une des extrémités du faisceau tubulaire peut être trouvée dans les poches de vapeur ; elle rentre dans le même ordre d'idées que la première, car elle revient à une différence de section utile.

Nous avons posé en principe que le déplacement à l'intérieur des tubes avait lieu du point le plus résistant au point le moins résistant ; mais déplacement ne veut pas dire circulation.

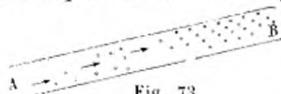


Fig. 73.

En effet, dans un tube chauffé, il se produit sur la surface de chauffe une série de bulles de vapeur en quantité proportionnelle à l'intensité de la chauffe ; ces bulles de vapeur gagnent la partie haute du tube en s'élevant dans des plans perpendiculaires à son axe et, de là, viennent plafonner sur la génératrice supérieure en

proportionnelle à l'intensité de la chauffe ; ces bulles de vapeur gagnent la partie haute du tube en s'élevant dans des plans perpendiculaires à son axe et, de là, viennent plafonner sur la génératrice supérieure en

augmentant le diamètre par expansion. Elles créent dans la partie relevée du tube un milieu d'une densité moindre que celle de la partie inférieure ; par conséquent, quand les bulles de la partie centrale se dilateront par la chaleur, elles rencontreront, pour se dégager, une résistance moindre vers la partie haute que vers la partie basse puisque la première présente, en raison de sa faible densité, une perte de charge moindre que la dernière qui ne contient presque pas de bulles. Le déplacement ne se fera cependant pas uniquement vers la partie supérieure ; si les pertes de charge sont proportionnelles aux densités, elles sont également proportionnelles au carré des vitesses ; la masse d'eau privée de bulles sera également refoulée vers le bas avec une certaine vitesse.

En pratique, les choses se passent de la façon suivante :

Les bulles de vapeur s'agglomèrent dans la section supérieure du tube du côté B ; l'eau reste à la partie inférieure et la vapeur se dégage par la partie B ; puis, l'eau revient par la section inférieure de cette partie B, la portion d'eau contenue du côté A étant animée d'un simple mouvement de va-et-vient. On se trouve alors dans les mêmes conditions qu'un tube bouché en A par un piston hydraulique animé d'un mouvement alternatif.

Adoptant cette théorie, M. Solignac reprend les expériences de Williams, de Bellens, etc., et en donne l'explication d'après le principe des résistances qu'il résume ainsi :

« 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 ».

Il classe ensuite les chaudières en trois catégories :

- 1^o Chaudières à bouilleurs,
- 2^o — à tubes de fumée,
- 3^o — à tubes d'eau,

et il étudie successivement les appareils de chaque catégorie en divisant ceux de la troisième en trois groupes :

1^o Chaudières à tubes d'eau dans lesquelles l'introduction de l'eau se fait par la même extrémité que l'expulsion de la vapeur ;

2^o Chaudières à tubes d'eau dans lesquelles la circulation se fait par différence de frottement entre le tuyau d'amenée d'eau et les tubes vaporisateurs, en raison des différences de section ;

3^e Chaudières à tubes d'eau dans lesquelles la circulation se fait par différence de hauteur absolue des colonnes d'eau.

M. Solignac conclut en faveur des appareils de ce dernier groupe qui permet des générateurs de petit volume, très légers, ne laissant pas beaucoup de prise aux incrustations et ne présentant aucun danger quand leur corps principal n'est pas soumis à l'action du foyer.

Malheureusement, ajoute-t-il, ces types sont en général peu économiques, car l'inclinaison des tubes est très forte et, par conséquent, ils ne profitent pas du rayonnement ; de plus, comme les tubes sont de petit diamètre, il en faut une quantité considérable pour obtenir une surface de chauffe importante, condition indispensable pour réaliser une économie de combustible ; le ballon qui sert de point d'attache à ces tubes a une surface limitée qui ne peut être percée du grand nombre de trous qui serait nécessaire.

Après l'étude de la circulation de l'eau dans les chaudières, M. Solignac aborde celle de la circulation des gaz au point de vue de la meilleure utilisation possible du combustible, et il se résume de la façon suivante :

Pour une circulation et une source de chaleur données, il existe une surface de chauffe convenable, correspondant à une chute de température à peu près fixe. Si on veut augmenter la source de chaleur pour augmenter le rendement en poids de vapeur du générateur, sans sacrifier le rendement en charbon, il faut également augmenter l'intensité de la circulation intérieure pour éléver la chute de température correspondant à la même surface de chauffe. A défaut de ce moyen, il faut ajouter à la surface de chauffe primitive une nouvelle surface qui sera suffisante comme absorbant de température, pour utiliser la chute encore disponible dans les gaz à la sortie de la première.

Mais dans tous les cas, il faut que la chaudière soit basée sur un principe tel que l'augmentation de température n'ait pas pour effet de diminuer la valeur de la circulation.

M. Solignac a été amené, à la suite de ses études, à créer un générateur complètement différent de ses devanciers et basé sur un principe nouveau qui peut se formuler ainsi :

« N'introduire, par unité de temps, dans les tubes vaporiseurs 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 inutile faisant obstacle à une circulation active, condition indis-

pensable d'une vaporisation rapide. On arrive ainsi à produire avec un tirage naturel 40 à 50 kg. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, résultat trois fois supérieur à celui que l'on obtient avec la pleine admission d'eau dans les tubes.

Indépendamment de la sécurité que présente ce nouveau mode de vaporisation, la réduction qu'il permet de faire des deux tiers de la surface de chauffe entraîne une série d'avantages qui font disparaître les inconvénients que présentent les chaudières ordinaires.

Description. — La chaudière Solignac se compose de deux parties :
1° Un ballon A, dans lequel se fait l'alimentation par le clapet J, comme dans toutes les chaudières.

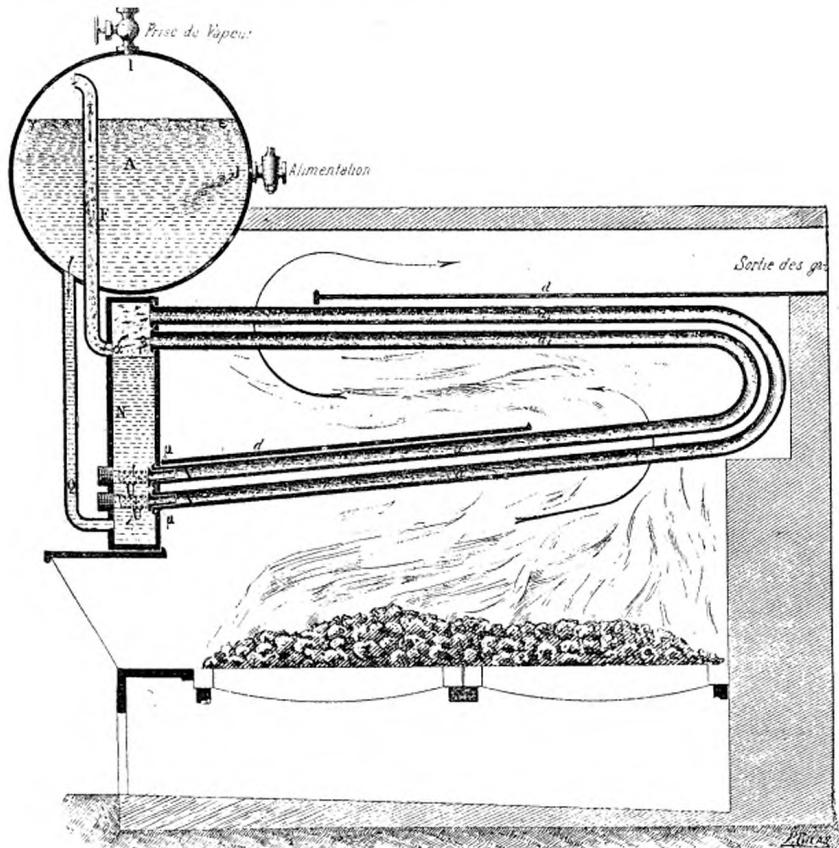


Fig. 74. — Schéma de la chaudière Solignac.

L'eau contenue dans le ballon A y séjourne jusqu'à ce qu'elle se rende

dans l'autre partie de la chaudière où elle se vaporise. 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 de chose près la quantité d'eau qu'ils reçoivent, il en résulte que le volume d'eau séjourne dans le ballon pendant un laps de temps fort long.

L'eau a donc toute facilité pour déposer ses sels dans le ballon, comme elle le ferait dans un détartreur, en sorte qu'elle ne pénètre dans la partie de l'appareil où s'opère la vaporisation qu'après être dépouillée de ses matières incrustantes.

La vapeur s'emmagasine dans la partie supérieure du ballon A, au-dessus du plan d'eau $\gamma\gamma$; elle est prise par la valve I suivant l'importance des besoins.

Si la production de vapeur est supérieure à la consommation, la pression monte dans le ballon et la masse d'eau condense la vapeur jusqu'à ce que l'eau attaque la température correspondante à cette pression; si au contraire la production de vapeur est inférieure à la consommation, la pression s'abaisse et l'eau émet spontanément de la vapeur pour rétablir la pression correspondante à la température de la masse d'eau.

C'est le principe sur lequel reposent les chaudières des locomotives sans foyer.

Le ballon A joue donc le double rôle de détartrleur et de volant régulateur de chaleur, indispensable pour obtenir la constance manométrique.

2^e Une boîte N et un faisceau tubulaire aa , dans lesquels s'opère la vaporisation proprement dite.

Le faisceau tubulaire se compose d'un plus ou moins grand nombre de rangées de tubes, suivant les applications, et comporte une série de tubes de 23 mm. de diamètre intérieur.

La quantité d'eau contenue dans le vaporisateur est très faible, mais son alimentation est instantanée, comme nous le verrons ci-après.

Le niveau d'eau dans la boîte N est maintenu constant à la hauteur $\alpha\beta$; les tubes sont en forme d', la branche inférieure a étant inclinée et la branche supérieure a_1 horizontale.

L'extrémité de la branche a qui débouche dans l'eau de la boîte N est muni d'une tuyère V qui porte un diaphragme percé d'un petit trou μ .

Fonctionnement. — Quand on chauffe les tubes, il se forme dans les branches inférieures a une poche de vapeur qui tend à chasser par

les deux extrémités du tube l'eau qui s'y trouve ; mais comme le diaphragme μ représente une résistance à l'écoulement supérieure à celle du coude et de la branche a_1 , l'eau s'écoule du côté le moins résistant et les tubes se purgent par la branche supérieure a_1 dans la poche de vapeur formée dans la boîte N au-dessus du plan $\alpha\beta$.

Lorsque les tubes se trouvent libres, la pression s'équilibre entre la poche de vapeur de N et les tubes ; l'eau pénètre alors dans ces tubes par l'action de la pesanteur, mais elle ne pénètre qu'en petite quantité, en raison du faible diamètre du trou au diaphragme μ .

L'opération d'évacuation se répète à nouveau ; mais elle s'effectue beaucoup plus rapidement en raison de la petite quantité d'eau engagée dans les tubes, et la succession de ces phénomènes se reproduisant à de très courts intervalles équivaut à la circulation continue d'une série de minces filets d'eau dans les tubes où ils se vaporisent au fur et à mesure de leur progression.

La vapeur n'étant plus gênée pour son dégagement, se produit rapidement sur toute la surface d'évaporation, qu'elle refroidit énergiquement, et le tube n'étant pas surchauffé, la cuisson des boues que forment les incrustations adhérentes ne peut plus se produire.

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 U qui sont placés en regard de chaque extrémité de tube. Ces bouchons servent à la visite et au nettoyage. Le manchon perforé est utilisé comme crêpine pour arrêter les corps étrangers qui pourraient se coincer dans les diaphragmes. Quant aux autres obstructions par entartrage, elles ne sont pas à craindre, le mouvement de recul que subit la tuyère assurant le nettoyage automatique du diaphragme placé en son centre.

La communication entre le ballon A et la boîte N s'effectue, pour la vapeur, par un tube F partant au-dessus du niveau $\alpha\beta$ et traversant la masse d'eau pour déboucher au-dessus du plan $\gamma\zeta$. Cette communication est obtenue, pour l'eau, à l'aide d'un tube Q qui prend dans le ballon au-dessus du fond, afin de ne pas entraîner les boues, et qui débouche à la partie inférieure de la boîte N.

Si le niveau $\alpha\beta$ s'élevait au-dessus de l'orifice du tube F, le vaporisateur ne pourrait plus évacuer sa vapeur et il monterait en pression jusqu'à ce que cette pression dépassât celle du ballon d'une valeur égale à la hauteur de la colonne d'eau mesurée entre les niveaux $\alpha\beta$ et $\gamma\zeta$.

L'eau en excès serait à ce moment refoulée et le niveau $z\beta$ s'abaisserait jusqu'à ce que l'orifice du tuyau F soit démasqué. L'équilibre entre la boîte N et le ballon A se rétablirait et l'eau passerait de A en N sous l'action naturelle de la pesanteur. Le niveau $z\beta$ dans la boîte N est donc constant.

Les faisceaux tubulaires sont fractionnés en éléments pouvant produire 400 kg. de vapeur à l'heure; c'est par la juxtaposition de plusieurs de ces faisceaux qu'on établit les différents types de chaudières qui progressent alors de 400 en 400 kg. de puissance.

Ce dispositif a l'avantage de créer pour tous les types des éléments interchangeables et de permettre avec une réserve restreinte de parer à l'exécution rapide des commandes les plus diverses.

Dans la coupe théorique précédente, on n'a indiqué, pour plus de simplicité que deux rangs de tubes; en réalité le nombre en est plus grand et s'étend de six à dix suivant que le générateur doit marcher à tirage normal ou à tirage forcé. Le dessin de la planche donne à ce sujet les dispositifs exacts de la construction.

Sécurité.— La sécurité, dans la chaudière Solignac, est absolue. En effet, les tubes de cet appareil se trouvent dégagés de l'eau inutile, toute la section de ces tubes est employée au passage de la vapeur, et on peut, tout en conservant une circulation très rapide, réduire le diamètre des tubes à 24 mm.

Quelle que soit, en cas d'accident, l'importance de la déchirure d'un tube, elle ne pourra donner passage qu'à un débit tout au plus égal à celui que la faible section du tube peut alimenter. Tous les accidents graves qui se produisent dans les autres chaudières sont presque toujours le résultat de la projection de l'eau à travers la déchirure sur le foyer en pleine activité. La chaudière se vide par la déchirure qui, étant donné le diamètre du tube, atteint généralement une section suffisante; la brusque mise en contact de ce volume d'eau avec le feu détermine une vaporisation instantanée, les gaz chauds du foyer sont chassés violemment dans la chambre de chauffe, dont les murs cèdent quelquefois sous cette expansion brutale, et les hommes sont brûlés ou asphyxiés sans avoir eu le temps de se garer.

Dans la chaudière Solignac, au contraire, en cas de rupture d'un tube, l'eau ne peut arriver que par un faible jet sur le foyer, après avoir passé par la tuyère qui commande le tube avarié; de plus, la vapeur qui tend à s'échapper par la déchirure ne peut pas dépasser le débit que permet la section libre du tube du côté opposé à la tuyère,

section qui est du même ordre que celle d'un simple souffleur destiné

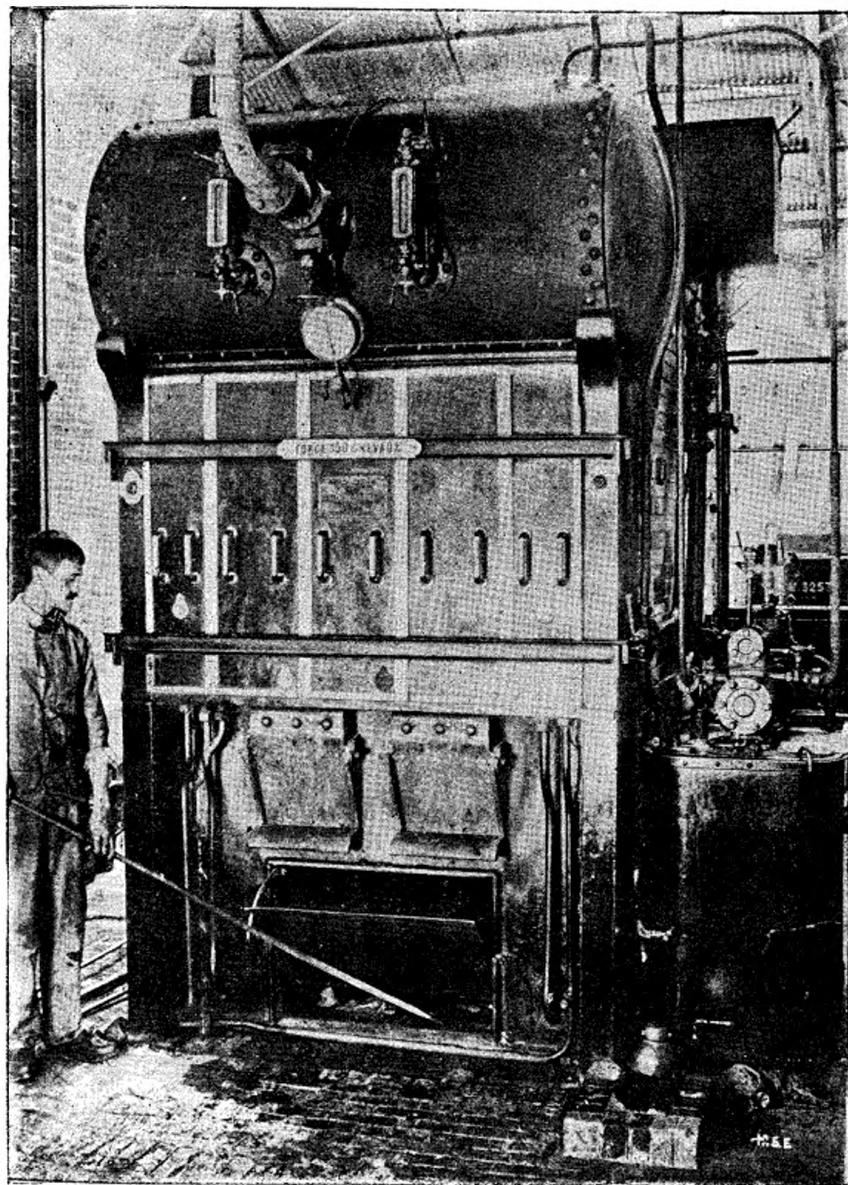


Fig. 75. — Générateur Solignac de l'usine La Bourdonnais.

à activer la combustion. Dans ces conditions, la vapeur se mélange aux gaz et se perd avec eux dans la cheminée.

C'est donc la sécurité assurée par la suppression des causes mêmes du danger.

Entretien. — Le générateur Solignac contient trois fois plus d'eau que les autres générateurs, à surface de chauffe équivalente. Ce phénomène prouve que le mélange de vapeur et d'eau qui parcourt les tubes, soustrait à la surface de chauffe trois fois plus de calories que s'il s'agissait de tubes complètement remplis d'eau, ce qui revient à dire que le faisceau est trois fois plus refroidi que dans les conditions ordinaires. Il n'est donc pas surprenant que sa conservation soit notablement augmentée puisqu'il est moins surchauffé.

Quant au ballon, il se trouve en dehors du feu et ne peut s'altérer.

La simplicité de l'ensemble du générateur et le petit nombre de pièces qui le composent restreignent beaucoup les frais d'entretien. Enfin, le faible diamètre des tubes simplifie les joints et les tampons qui sont la cause la plus fréquente d'accidents dans les faisceaux tubulaires et la source de frais considérables pour l'entretien normal.

Facilité de conduite. — La conduite des générateurs Solignac est des plus simples en raison de l'alimentation qui se fait en réalité à deux degrés :

- 1° Dans le ballon où l'eau s'épure ;
- 2° Dans le faisceau tubulaire.

Le ballon joue donc le rôle de réservoir, régularisant l'alimentation dans le faisceau, et la surveillance du niveau d'eau devient moins capitale que dans les chaudières ordinaires.

Si le faisceau tubulaire rougit par suite d'un manque d'eau provenant de l'inattention du chauffeur, l'alimentation se faisant goutte à goutte à travers les tuyères, il ne peut y avoir à craindre de vaporisation brusque et dangereuse d'une trop grande quantité d'eau, dès que le chauffeur veut réparer son oubli.

Nettoyage instantané en marche par chasse de vapeur. — Les dépôts calcaires se forment au fur et à mesure que l'évaporation augmente le degré hydrotimétrique de l'eau contenue dans la chaudière, et il arrive un moment où ils cristallisent. Cette cristallisation s'opère surtout pendant les périodes de calme où il n'y a pas d'ébullition dans la chaudière. Les couches incrustantes se forment également par cuisson au contact des parois chaudes.

Par conséquent, si on arrivait à expulser ces sels régulièrement, et aussi fréquemment qu'il serait nécessaire, de façon à ce qu'il ne s'en trouve pas dans la chaudière au repos et que pendant la marche la quantité de ces sels au contact de la surface de chauffe soit toujours très faible, la formation de tartre serait complètement évitée.

Ces desiderata sont réalisés avec la chaudière Solignac, dans laquelle la purge s'opère de la façon suivante :

Au milieu de la boîte N se trouve un robinet Z qui, fermé, sépare la boîte en deux compartiments isolés. Cette boîte est alimentée d'eau par la conduite Q, sur laquelle se trouve un robinet Y à trois directions qui permet, par ses trois positions successives :

- 1^o L'alimentation de la boîte;
- 2^o La purge du tuyau Q;
- 3^o La purge de la boîte avec fermeture simultanée du tuyau Q.

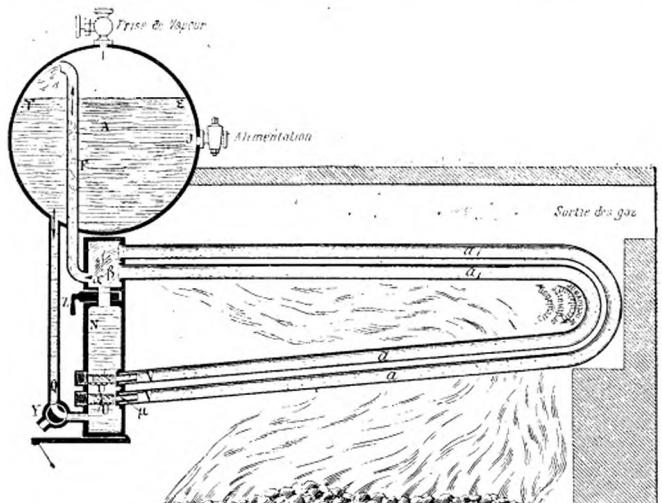


Fig. 76. — Générateur Solignac. — Schéma explicatif du nettoyage par la vapeur.

Dans cette dernière opération, la vapeur de la chaudière tend à s'échapper par la purge commandée par le robinet Y et elle ne peut le faire qu'en empruntant le chemin du tuyau F et des tubes a ; elle ramone donc énergiquement toutes les boues et tous les sels en suspension, nettoyant par son passage sous pression les orifices des tuyères et la partie inférieure de la boîte N. Cette chasse avec de la vapeur sèche met le métal absolument à nu, et, l'opération terminée, la chaudière se trouve dans un état de propreté comparable à celui qu'elle avait au début de sa mise en route.

Ces opérations peuvent être effectuées en marche, car elles demandent fort peu de temps, quelques secondes à peine, et dans les types un peu importants où le faisceau tubulaire est constitué par des unités

isolées, il suffit d'opérer la vidange sur chacune de ces unités successives ; pendant ce temps, les autres unités fournissent de la vapeur concurremment aux besoins du service et au nettoyage de la boîte à vidange.

On voit donc que, quelle que soit la nature des eaux, en faisant des purges plus ou moins fréquentes, on peut arriver à marcher dans les mêmes conditions que si on avait des eaux d'une pureté absolue. On peut ne pas considérer ces purges comme une dépense; ces purges se faisant à la vapeur, la quantité d'eau perdue est insignifiante. Il suffit de faire l'opération pendant que la chaudière est à son maximum de pression.

Rendement. — Les avantages que présente l'emploi du système Solignac ne sont pas, comme dans beaucoup de générateurs à grande vaporisation, rachetés par une dépense excessive de combustible.

Au contraire, la consommation de houille par kilogramme d'eau évaporée n'est pas supérieure à celle des générateurs des autres systèmes, même pour les rendements les plus élevés.

Les graphiques de la *Pl. 24* donnent à ce point de vue une idée économique du fonctionnement de la chaudière de l'usine La Bourdonnais.

Générateurs Simonis et Lanz.

MM. Simonis et Lanz, constructeurs à Francfort-sur-Main (Allemagne), présentaient à l'usine Suffren une chaudière multitubulaire qui a été admise par le Comité technique des machines pour une production de 3 250 kg. de vapeur à l'heure.

Le générateur a 215 m² de surface de chauffe et 5^{m2},40 de surface de grille, de sorte que la vaporisation moyenne était de 15 kg. par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Les dessins de la *Pl. 25* donnent les détails de construction de cette chaudière. Elle possède deux chambres à eau, une à l'avant, l'autre à l'arrière, reliées par un faisceau de 128 tubes de 93 mm. de diamètre extérieur et 3 1/4 mm. d'épaisseur.

La vapeur qui se forme dans les tubes traverse la chambre de vapeur antérieure, très large, et monte par la grande tubulure dans le réservoir supérieur. Dans la partie avant de ce réservoir, la vapeur est séparée de l'eau au moyen d'un entonnoir, avec couvercle et plaque de trop plein, et d'une cloison qui descend jusqu'au niveau le plus bas de l'eau.

La vapeur, ainsi soustraite à la nappe d'eau, vient frôler les gouttières **U** qui garnissent les cloisons; elle y laisse les gouttelettes d'eau

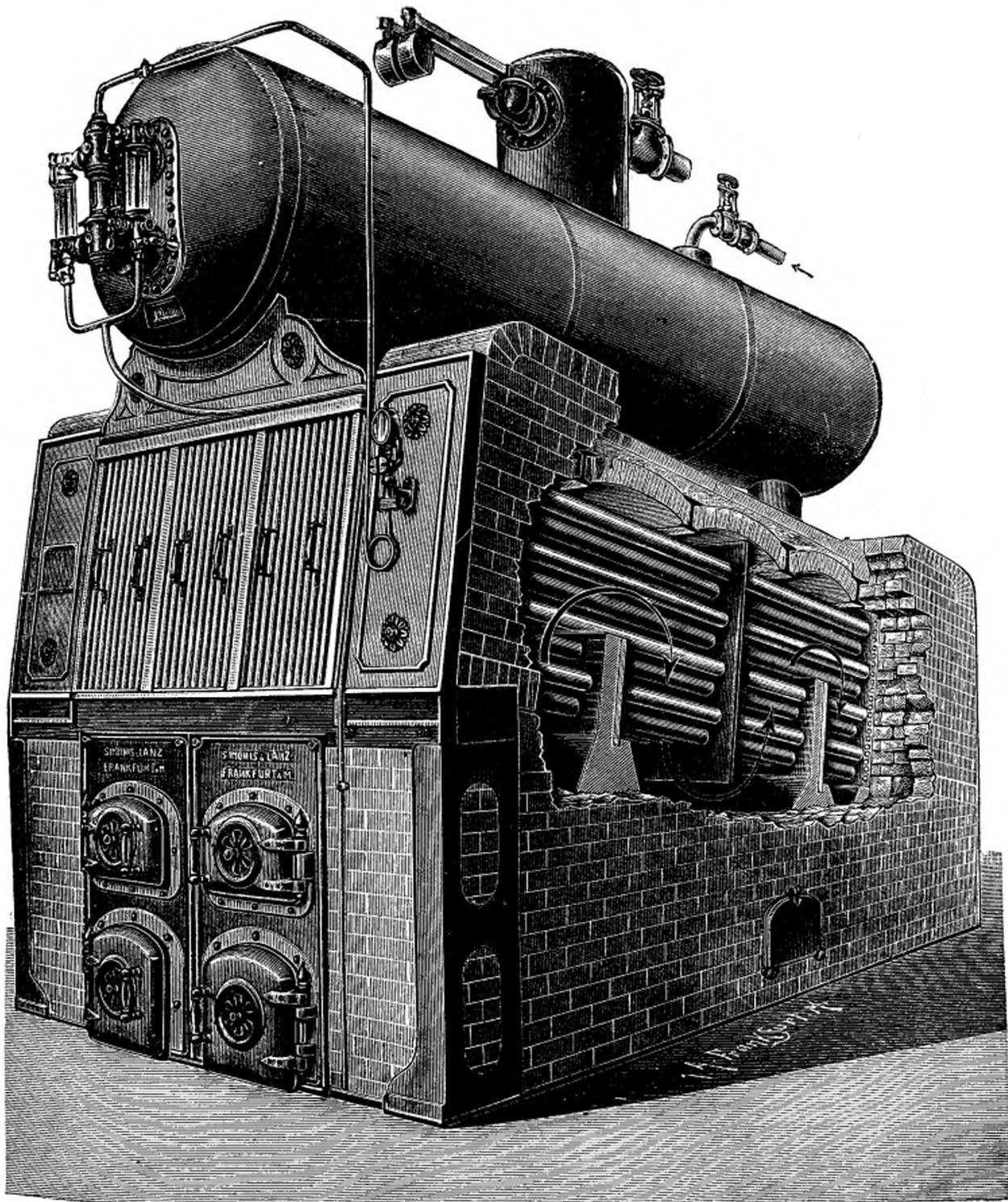


Fig. 77. — Chaudière Simonis et Lanz.

qu'elle renfermait encore et se rend dans la partie supérieure du dôme; là, elle traverse un appareil spécial pour sortir à l'état de vapeur absolument sèche.

La disposition des cloisons dont nous venons de parler, assure dans la partie arrière du réservoir supérieur un niveau calme, favorable à la continuation de la vaporisation.

L'eau qui s'écoule à l'arrière du réservoir passe par la tubulure arrière dans la chambre à eau et dans les tuyaux à minces parois; elle retourne au réservoir en passant par la chambre antérieure et par la tubulure de jonction. On obtient ainsi une circulation constante de toute la masse d'eau contenue dans la chaudière et, par conséquent, une vaporisation très rapide.

L'eau d'alimentation traverse un tube réchauffeur de grand diamètre qui se trouve dans le réservoir supérieur, de sorte qu'elle s'échappe bouillante de la partie antérieure de ce réservoir. Les matières tar-treuses forment à cet endroit un dépôt de limon que la circulation de l'eau entraîne à l'arrière, où des collecteurs le maintiennent au fond de la chaudière; l'évacuation se fait, pendant la marche, par un robinet de purge.

La chaudière repose, à l'avant, sur un solide sommier en fer et, à l'arrière, sur des galets, en vue de la dilatation. Le jeu de la tubulure de retour à l'arrière assure la compensation en cas de différence entre la dilatation du réservoir supérieur et celle du faisceau tubulaire.

Des plaques en fer formant chicanes, obligent les gaz chauds à lécher les tubes, autant que possible de toute part, uniformément.

Les dimensions du réservoir supérieur varient à la demande; elles sont en rapport de la force de la chaudière et, pour les chaudières puissantes, on en prévoit quelquefois deux.

Une voûte réfractaire sépare généralement le réservoir du faisceau tubulaire; mais on peut aussi chauffer simultanément le faisceau et le réservoir lorsque l'eau d'alimentation est de bonne qualité.

Les tubes, à soudure brevetée, sont exposés à la flamme sur une longueur de 3^m,200; ils sont emboutis à chaque extrémité dans la chambre à eau avant et dans celle d'arrière. Leur nettoyage s'obtient simplement, au moyen d'un jet de vapeur, ce qui permet d'obtenir des surfaces de chauffe bien nettes.

Les deux chambres à eau sont reliées par de larges étrésillons au réservoir supérieur.

La chaudière est construite entièrement en fer forgé, et tous les

assemblages sont faits avec rivets. Les trous des rivets ayant été percés, on sépare les plaques, on éloigne la bavure et alors seulement on procède au rivetage. Les bords des plaques de tôle sont rabotés sur les deux faces à la machine et le réservoir supérieur est soigneusement maté, à l'intérieur comme à l'extérieur. Les rivures longitudinales et circulaires ont deux rangées de rivets.

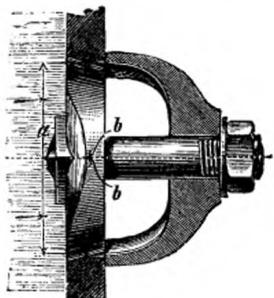


Fig. 78.

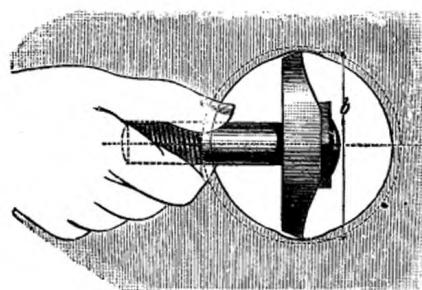


Fig. 79.

Les ouvertures qui se trouvent dans les chambres à eau, et en face desquelles débouchent les tubes, se ferment au moyen d'un joint autoclave de sûreté, conique, qui s'introduit du dehors et est inaccessible de tout autre côté : c'est une fermeture simple, commode et sûre.

Le diamètre a étant plus grand que b , on introduit facilement le couvercle, comme l'indique la fig. 78 ; en lui faisant décrire un quart de tour dans son axe, il vient fermer l'ouverture conique, fig. 79.

Le joint se fait automatiquement, par la pression de la chaudière qui agit en décharge sur l'unique vis.

Nous donnons dans le tableau suivant, un certain nombre de résultats d'essais effectués sur les chaudières Simonis et Lanz.

Chaudières tubulaires, à sections. — La maison Simonis et Lanz construit également des chaudières de sûreté, tubulaires, à sections, dont la loi allemande autorise l'installation sous des lieux habités, même lorsqu'il s'agit de puissances importantes et de hautes pressions de vapeur.

Dans ces chaudières, chaque tube est mandriné par ses deux bouts dans des tubes verticaux et forme avec ces derniers une section ou, pour ainsi dire, une chaudière à part.

Selon l'importance du générateur, on réunit plusieurs de ces sections en un tout, à l'aide d'un tube d'alimentation commun, à l'arrière, et d'un tube collecteur de vapeur, à l'avant.

Essais des chaudières Simonis et Lanz.

EMPLACEMENT DES CHAUDIÈRES		Königl. Conserven- Fabrik Haselhorst.	Dampfzähler Gesellschaft, Hamburg.	J.S. Fries Sohn, Frankfort-s.-M.	Elektrizitäts- werk Bockenheim.	Schuckert et Co., Frankfort-s.-M.	B. Dondorf, Frankfort-s.-M.	Druckluft- Anlage, Offenbach-s.-M.	Musik-Theater- Ausstellung, Vienne.	Centralen Elektr.-Ges., Budapest.	Grunwald et Co., Spiritusfabrik, Budapest.								
Date de l'essai.	25 janv.	1891	20 avril	24 avril	3 mai	6 mai	9 mai	1894	1894	1892	1894								
Surface de chauffe. m ²	160,3	325,96	125,4	90,0	39	100,3	100,3	240,67	240,67	213	250								
Surface de grille.	" 1,68	5,7	1,57	4,55	0,6	1,65	2,05	4,46	4,02	4,46	5,6								
Rapport de grille à la surface de chauffe.	1:59	1:57	1:80	1:58	1:65	1:61	1:49	1:54	1:54	1:53	1:44,7								
Durée de l'essai en heures.	7 1/2	6 5/12	10 1/4	11 1/2	6	8 1/2	9	6	7	5 2/3	7 1/4								
Charbon brûlé brut total. kil.	1805	2790	1165,5	1120	266,8	1128,5	1140	1708,7	2195	2063	3040								
— — — par heure	" 240	434,8	113,75	97,89	44,47	132,76	126,57	284,8	313,5	364	419,3								
— — — par mètre carré de surface de grille et par heure.	" 142	76,3	72,22	62,85	74,11	80,46	61,79	63,85	70,3	91	75								
Cendres.	" 1805	270	110,0	89,5	18,61	64,0	67,0	—	151	102	600								
Eau vaporisée totale	" 15,111	25,500	11039	10243	2595,9	10441,9	10384,32	16863	22758,5	12135	22970								
— — — par heure.	" 2014	3974	1076,98	890,7	432,65	1228,37	1153,81	2810,5	3251,2	2141	3168								
— — — par mètre carré de surface de chauffe et par heure.	" 20,14	12,2	8,57	9,9	11,09	12,25	11,50	11,68	13,51	10,05	12,67								
Température de l'eau d'alimentation C°	10	13,3	37	12,5	11	13,53	14,8	41,11	41,17	39,7	34,25								
Pression moyenne en atmosphères.	6,3	10	7,105	7,013	7,07	6,5	6,14	7,9	7,83	6,61	8,65								
1 kil. de charbon vaporisé brut. kil. d'eau	8,37	9,14	9,47	9,15	9,73	9,25	9,11	9,869	10,368	10,882	7,556								
1 kil. — net. —	9,35	10,11	10,07	9,94	10,46	9,81	9,68	—	11,13	—	9,44								
Le gaz contient d'acide carbonique. %	10,2	—	14,9	13,43	12,7	13,4	13,5	11	12,5	—	13								
Température des gaz C°	209,5	206,3	219,0	223,67	209,0	219,0	235,0	143,8	150,8	248	270								
La valeur du charbon en calories.	7235	8040	7957	7957	7957	7957	7928	7020	7928	5073	6597								
Rendement du charbon brut. . . . %	75,4	73,8	74,0	74,3	(1) 79,0	74,2	73,5	(2) 86,93	(2) 80,86	71,65	(3) 76								
L'essai est fait par MM.		Régierungsbau- meister Taentzscher, Haselho.-st.	Norddeutscher Dampf- kesselverein.	Offenbacher Dampfkessel-Ueberwachungs-Verein.															
(1) Rendement produit par installation d'un réchauffeur à vapeur d'eau d'alimentation.																			
(2) Rendement produit par installation d'un réchauffeur chauffé par le gaz.																			
(3) Rendement produit en considérant les pertes résultant du rafraîchissement du réservoir et des tuyaux de vapeur alimentant l'injecteur.																			

Les deux tuyaux supérieurs de chaque section servent de sécheurs de vapeur; l'eau entraînée par la vapeur retourne au faisceau tubulaire inférieur par des tubulures *ad hoc*.

Les ouvertures percées dans les sections, pour l'introduction des tubes, sont fermées, comme dans la grande chaudière que nous avons examinée précédemment, au moyen du joint autoclave breveté.

Ces chaudières à sections représentent la force motrice à bon marché dans les lieux habités, surtout pour des installations électriques. Il en a été monté, entre autres applications, 300 m. dans une seule cave. Leur travail est plus économique que celui qui résulte de l'emploi des moteurs à gaz; il procure, en outre, l'avantage de pouvoir utiliser la vapeur d'échappement des machines pour le chauffage de l'immeuble.

La maison Simonis et Lanz construit ces chaudières pour toutes les pressions, en réduisant autant que possible les dimensions par rapport à l'emplacement disponible.

Générateurs Steinmüller.

MM. L. et C. Steinmüller, constructeurs à Gummersbach (Allemagne), avaient installé à l'usine Suffren une batterie de cinq générateurs multitubulaires, admise par le Comité technique des machines pour une production de 17 000 kg. de vapeur à l'heure.

Chaque générateur, de 234 m² de surface de chauffe et 5^{m2},62 de de surface de grille, vaporisait donc 3 400 kg. d'eau par heure, soit 13^k,40 par mètre carré de surface de chauffe.

Nous reproduisons, *Pl. 26*, les dessins complets relatifs à une chaudière. On voit que cette chaudière se compose essentiellement de deux parties : le générateur proprement dit et le réservoir d'eau et de vapeur. Le générateur, incliné sur l'arrière, comprend 168 tubes en fer forgé, de 93 mm. de diamètre et 5 m. de longueur chacun, montés en quinconce et mandrinés à leurs extrémités, aux raccords avec les chambres à eau.

Le réservoir est placé à la partie supérieure de la chaudière; il contient de l'eau jusqu'à mi-hauteur et il communique directement, à l'avant et à l'arrière, avec les tubes, de sorte que ceux-ci sont toujours remplis d'eau.

La grille se trouve placée sous le système de tubes.

Fonctionnement. — Dès que le foyer est allumé, l'eau chaude et les bulles de vapeur produites dans les tubes montent vers le réservoir

par la chambre à eau de l'avant; ce mélange d'eau et de vapeur ne

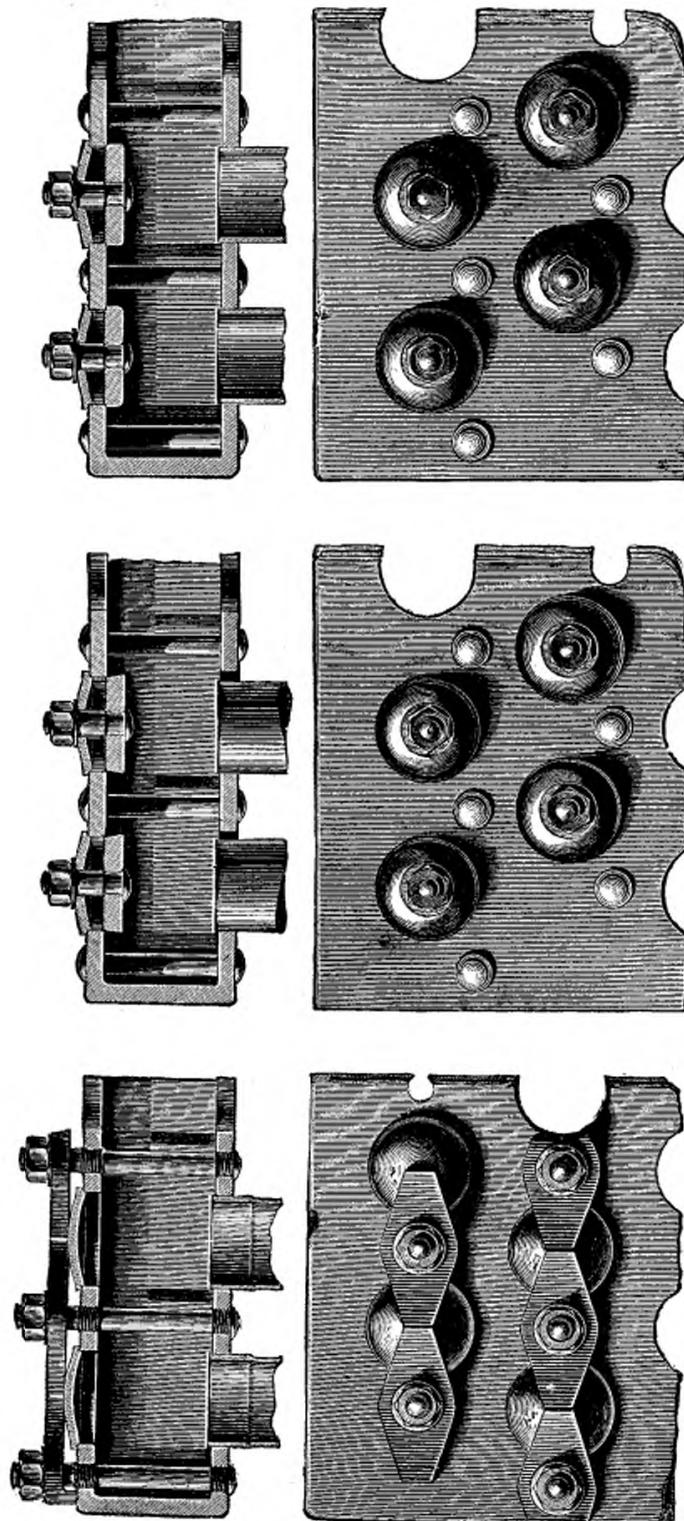


Fig. 80. — Générateur Steinmüller. — Fermeture des chambres à eau.

prend pas contact avec l'eau du réservoir et ne peut l'agiter.

La plus grande partie de l'eau contenue dans le mélange retourne vers la chambre à eau postérieure par un tube situé près du fond du réservoir; la vapeur et le peu d'eau restant sont conduits jusqu'à une boîte placée horizontalement dans le réservoir et dont le fond est percé d'un certain nombre d'ouvertures.

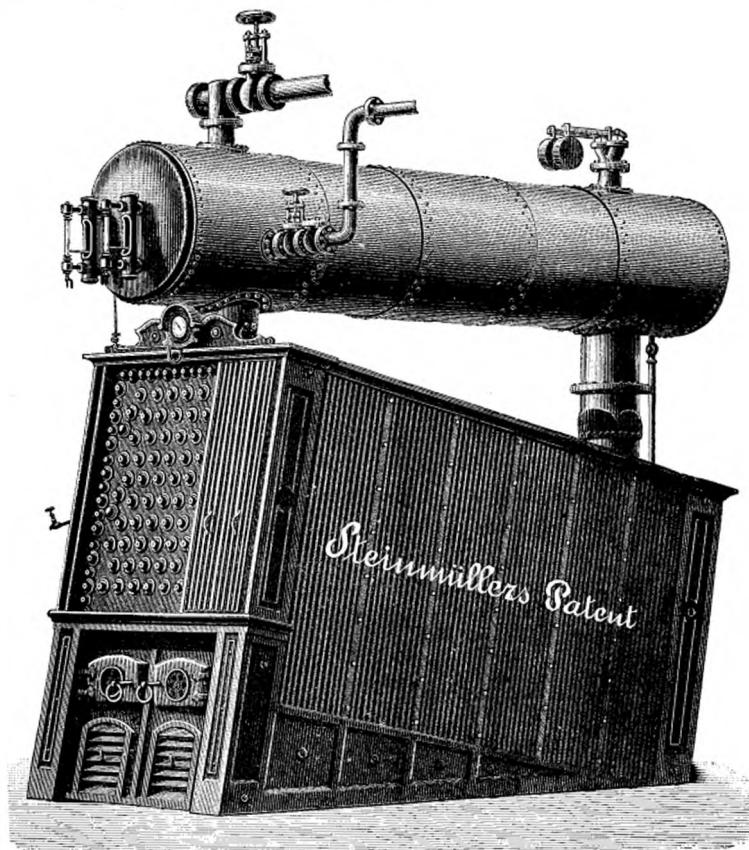


Fig. 81.

Dans cette boîte, la séparation finale de l'eau et de la vapeur est obtenue de telle façon que les gouttes d'eau, avant de retomber au fond de la boîte, se réunissent et coulent lentement en formant une nappe de vaporisation qui laisse dégager la vapeur restant encore dans le mélange. L'eau passe dans les ouvertures de la boîte et tombe dans

le réservoir pour se joindre à l'eau d'alimentation et circuler dans les tubes par la communication d'arrière.

Circulation de l'eau. — Cette colonne d'eau, exempte de vapeur, pousse devant elle le mélange plus léger d'eau et de vapeur contenu dans les tubes; il en résulte une circulation intense et très continue, qui amène en quelques instants toute l'eau renfermée dans la chaudière en contact avec les surfaces chauffées des tubes.

La circulation de l'eau n'est pas ralentie par des cloisons, des soupapes ménagées à l'intérieur, des tubes étroits ou autres chemins tortueux; elle se développe librement et la vapeur se trouve cependant séparée de l'eau, grâce à l'appareil breveté de la boîte du réservoir, détaillé précédemment.

Vapeur sèche. — En activant les feux au foyer de la chaudière, de manière à produire une quantité de vapeur plus considérable, la nappe de vaporisation s'étend sur une plus grande surface dans la boîte du réservoir, sans que la vitesse d'écoulement de l'eau soit augmentée et sans que l'eau du réservoir soit agitée.

Les entraînements d'eau par la vapeur qui se dégage plus fortement sont ainsi évités et la chaudière, même quand elle est poussée, ne produit que de la vapeur sèche.

Ce fait a été nettement confirmé au cours des expériences officielles de l'Exposition industrielle de Düsseldorf. Une chaudière Steinmüller, produisant 23^k,400 de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure, a fourni de la vapeur ne contenant qu'à 0,2 0/0 d'eau entraînée.

Une chaudière qui peut ainsi fournir de la vapeur sèche, travaille, à production égale, plus économiquement qu'une chaudière donnant de la vapeur humide et elle supprime les inconvénients de l'eau entraînée, si nuisible aux tuyauteries et aux organes de machines.

Dans le cas où on emploie un surchauffeur, l'influence de la production directe de vapeur sèche sur les dépenses d'exploitation est très considérable. Si la vapeur qui doit être surchauffée est humide, le surchauffeur sera employé à vaporiser l'eau contenue dans cette vapeur avant de produire aucune élévation de température; l'efficacité du surchauffeur et, par conséquent, le rendement même de l'installation sont alors bien diminués.

Incrustations. — L'eau d'alimentation est introduite dans le réservoir à l'endroit où l'eau chaude arrive des tubes; elle subit une rapide élévation de température qui permet d'obtenir la précipitation instantanée.

tanée de la plupart des sels calcaires; ceux-ci viennent se déposer dans l'eau tranquille du réservoir et dans le collecteur des dépôts; ils ne peuvent pas être durcis par brûlure et s'évacuent rapidement aux robinets de vidange. Les tubes sont alors parcourus par de l'eau décantée et l'intensité de la circulation aidant, la formation des incrustations devient plus difficile.

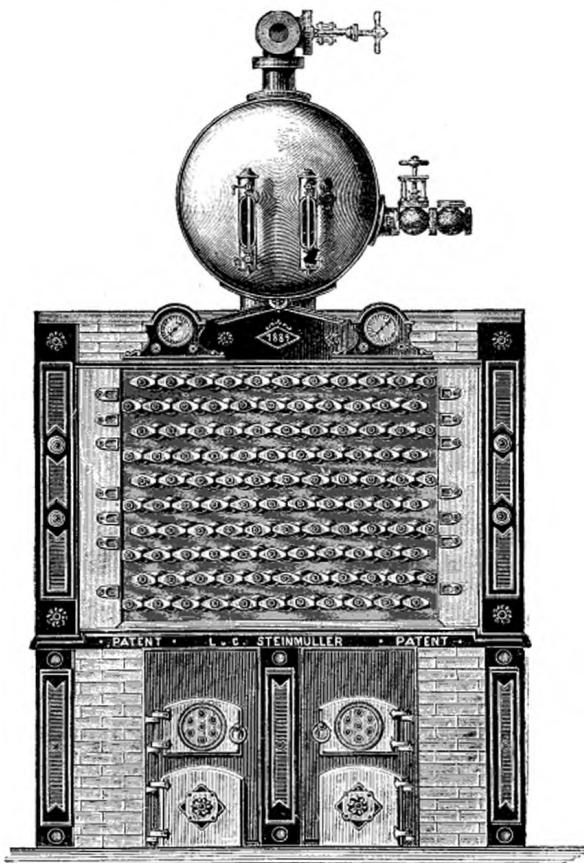


Fig. 82. — Vue de face d'un générateur Steinmüller.

Les tubes renferment de l'eau en mouvement et ne peuvent donner lieu à des localisations de vapeur, de sorte que les détériorations par « coups de feu » se trouvent évitées.

Le réservoir supérieur et ses tubulures de communication ne sont pas atteints par les gaz chauds et leur conservation est assurée. La durée de la chaudière, dans ces conditions, est très grande. Des chau-

dières Steinmüller qui fonctionnent depuis vingt-cinq ans, travaillent encore sans difficulté.

Dilatations. — L'avant de la chaudière est fixe ; la partie postérieure, posée sur cylindres, est mobile : la chaudière peut donc se dilater et se contracter librement. La parfaite circulation de l'eau assure une température uniforme aux différentes parties et s'oppose aux tensions nuisibles que l'on peut redouter, à l'intérieur de la chaudière, avec des différences de température importantes.

Nettoyage. — L'enlèvement des dépôts de suie à la surface extérieure des tubes se fait pendant la marche au moyen d'une lance à vapeur. Les parois des tubes peuvent donc être tenues très propres, ce qui procure une utilisation presque complète du calorique.

Matériaux. — La chaudière est construite entièrement en fer forgé ; les bouchons des tubes sont en acier forgé et les joints, d'une grande simplicité, mettent le fonctionnement régulier du générateur à l'abri de toute surprise.

Même pour une production importante de vapeur, la chaudière occupe un faible espace : le transport, le montage et la maçonnerie sont peu onéreux.

Résultats acquis. — Les installations de chaudières Steinmüller produisent actuellement plus d'un million de chevaux-vapeur ; c'est un résultat acquis considérable, étant donné que l'apparition de ces générateurs remonte à vingt-six années seulement. Ces chaudières sont très répandues en Allemagne et dans plusieurs pays d'Europe où elles fonctionnent dans de bonnes conditions, si on en juge par les chiffres obtenus dans de nombreux procès-verbaux d'essais.

Nous donnons ci-après quelques-uns des résultats d'essais récents ; ils permettent de se rendre compte des quantités d'eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe et par mètre carré de surface de grille, dans des conditions de fonctionnement bien déterminées.

Extrait d'un rapport des essais effectués sur une machine à vapeur et une chaudière Steinmüller, à la station centrale d'électricité de Rheinau, sous la direction du Professeur Kittler, de Darmstadt, par la Société badoise de surveillance des chaudières à vapeur, le 22 Mars 1899.

Conditions mécaniques.

Diamètre du cylindre H. P..	mm	375
id. id. B. P..	mm	650

Course du piston	mm	1 100
Surface de chauffe de la chaudière	m ²	242,3
id. de grille	m ²	4,9

Observations.

Durée de l'essai.	minutes	426
Consommation totale d'eau	kg.	20 300
Consommation nette d'eau (20 300 ^{kg} - 392 ^{kg} d'eau condensée)	kg.	20 008
Température de l'eau d'alimentation	degrés	42
Consommation brute de charbon	kg.	2 360
Consommation nette de charbon	kg.	2 242
Pouvoir calorifique du charbon	calories	7 075
Température d'échappement des gaz.	degrés	265
Pression moyenne dans la chaudière	kg.	9,3
Tirage en mm. d'eau	mm	20
Vitesse de la machine en tours par minute		109

Résultats.

Puissance de la machine en chevaux indiqués		420,5
id. id. en chevaux effectifs		374
Consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure	kg.	6,700
id. id. effectif et par heure	kg.	7,530
Consommation brute de charbon par cheval indiqué et par heure	kg.	0,793
Consommation brute de charbon par cheval effectif et par heure	kg.	0,910
Consommation nette de charbon par cheval indiqué et par heure	kg.	0,75
Consommation nette de charbon par cheval effectif et par heure	kg.	0,86
Eau vaporisée par heure et par m ² de surface de chauffe.	kg.	11,8
id. id. et par m ² de surface de grille	kg.	584
Charbon brûlé par heure et par m ²	id.	68
Eau vaporisée par kg. de charbon.	kg.	8,6
id. id. réduite (méthode anglaise)	kg.	9,57
Rendement du combustible		75 %

Essais de vaporisation exécutés par le Comité de surveillance des chaudières de la Silésie à la fabrique de papiers de MM. Cohn et Cie à Friedland, le 12 juillet 1899 avec une chaudière de 239^{m²},9 de surface de chauffe, munie d'un surchauffeur de 74^{m²},3 de surface de chauffe.

Conditions mécaniques.

Surface de chauffe baignée par l'eau	m ²	259,9
Surface totale de grille	m ²	7,95
Rapport de la surface de grille à la surface de chauffe		$\frac{1}{32,7}$

Observations.

Durée de l'essai	heures	8
Consommation de charbon.	kg.	4 431,5
Pouvoir calorifique du charbon	calories	5 701,25
Résidu en cendres et crasses	%	13,6
Consommation d'eau d'alimentation pendant l'essai	kg.	31 618,5
Température de l'eau d'alimentation.	degrés C.	40
Pression moyenne dans la chaudière.	atm.	8,7
Température des gaz à la sortie de la chaudière	degrés C.	285
Température de la vapeur surchauffée	degrés C.	235,5

Résultats.

Eau vaporisée par heure et par m ² de chauffe de la chaudière	kg.	15,21
Consommation de charbon par heure et par m ² de surface de grille.	kg.	69,28
Surchauffage en degrés centigrades		57,9
Quantité de vapeur à 235°,5 produite avec de l'eau à 40° et avec un kg. de charbon	kg.	7,14
Quantité de vapeur à 100° produite avec de l'eau à 0° et un kg. de charbon.	kg.	7,27
Rendement du combustible.	%	81,21

La maison L et C. Steinmüller construit également des surchauffeurs qui peuvent être adaptés à ses chaudières ou à tous autres générateurs de vapeur. Nous aurons l'occasion d'examiner ces appareils dans le chapitre spécial réservé au surchauffage de la vapeur.

Générateurs Morrin Climax Boiler

La section américaine a installé à Vincennes, pour le service de la force motrice du pavillon des machines-outils des Etats-Unis, deux chaudières du type « Morrin Climax Boiler », construits par « The Clonbrock steam boiler Co » de Brooklyn.

Chacun de ces générateurs, d'une surface de chauffe de 227^{m²},55 et d'une surface de grille de 5^{m²},32, a été admis par le Comité technique pour une production de 3 410 kg. de vapeur à l'heure, à la pression de 11 kg. La vaporisation par mètre carré de surface de chauffe et par heure atteignait donc 15 kg. d'eau.

Nous donnons, Pl. 26, la disposition d'ensemble de l'une de ces chaudières. Elle se compose d'un corps cylindrique vertical de 1^m,07 de diamètre et 3^m,50 de hauteur, dont les fonds en forme de calottes sont emboutis sous un rayon de courbure sensiblement égal au diamètre du corps. La construction est obtenue au moyen de tôles d'acier ; la paroi cylindrique est à peu près entièrement constituée à l'état de plaque

tubulaire percée d'un grand nombre de trous qui reçoivent deux à deux les extrémités des tubes vaporisateurs, également en acier.

Chaque tube, de 600 mm. de diamètre, part normalement d'un point du corps cylindrique pour y revenir à un niveau supérieur situé à 0^m,40 du premier, après un parcours cintré qui le fait saillir de 1 m. 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.

La capacité de la chaudière est de 39^{m3},260.

Le chauffage de la surface de chauffe est obtenu au moyen de quatre alandiers 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. Un trou d'homme est placé en bas du corps cylindrique, au-dessous du niveau des grilles.

Le niveau de l'eau dans l'appareil se trouve situé aux 2/3 de la hauteur du corps vertical. La partie supérieure de ce corps et les tubes vaporisateurs correspondants forment réservoir et séchoir 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 mm. disposé en haut du fourneau, permet de réchauffer l'eau d'alimentation.

La prise de vapeur et les soupapes sont placées à l'extrémité d'un tuyau horizontal de 1^m,30 de longueur. L'indication du niveau de l'eau est donnée par un tube de verre et un système de robinets de jauge, situé à 3^m,80 au-dessus du sol et greffé sur une clarinette que des tubes de grande longueur, coudés, relient au générateur.

Une partie relativement étendue de la surface de chauffe se trouvant au-dessus du niveau du liquide et le tube de verre et le système de robinets étagés n'étant pas indépendants, les conditions prescrites par le décret français du 30 avril 1880 ne se trouvaient pas satisfaites ; le fonctionnement de ces chaudières a dû faire l'objet d'une autorisation en dérogation qui a été accordée par le Ministre des Travaux publics sur la demande du Commissaire Général des Etats-Unis.

Les générateurs du type « Morrin Climax boiler » sont très répandus en Amérique ; leur emploi tend à gagner l'Europe, et en particulier l'Angleterre, car MM. Rowland et C^{ie}, de Manchester, s'occupent actuellement de leur construction.

CHAPITRE IV

DISTRIBUTION DE LA VAPEUR

1^o Conditions d'établissement du projet de distribution.

Le projet de distribution de la vapeur dans les Palais des Machines, pour le service de la force motrice et pour l'alimentation des appareils simplement exposés, a été étudié par M. Bourdon, Ingénieur en chef des Installations mécaniques, sur les bases suivantes :

1^o Chaque batterie de chaudières, soit de l'usine Suffren, soit de l'usine La Bourdonnais, devra être capable de fournir la vapeur à l'un quelconque des 37 groupes électrogènes du service de la force motrice ; c'est-à-dire qu'aucun groupe de générateurs ne pourra être affecté à une ou plusieurs machines déterminées.

2^o Les canalisations générales de vapeur auront un diamètre uniforme de 250 mm. ; elles seront obtenues par la jonction de tuyaux en tôle d'acier, de 4^m,40 de longueur.

3^o Toutes les canalisations seront revêtues d'un calorifuge ; elles auront une pente générale dans le sens de l'écoulement de la vapeur et des précautions spéciales seront prises en vue de la dilatation.

La première condition indiquait immédiatement le plan de la disposition générale de la tuyauterie. Tous les générateurs devaient déverser leur vapeur dans un certain nombre de canalisations aboutissant à un ou plusieurs réservoirs-collecteurs de vapeur. D'autres canalisations, en nombre suffisant, étant donné la quantité de machines à desservir, devaient partir de ces collecteurs et étendre leur réseau général de manière à couvrir l'emplacement réservé aux groupes électrogènes.

Il en résulte, pour l'étude de la tuyauterie, un classement facile en trois parties, savoir :

1^o *Canalisation aériennes*, destinées à recevoir la quantité totale de vapeur produite par les chaudières des usines Suffren et La Bourdonnais.

2^e *Collecteurs de vapeur*, réunissant les conduites précédentes.

3^e *Canalisations souterraines*, partant des collecteurs pour distribuer la vapeur à proximité des emplacements réservés aux machines.

La Pl. 27 indique la disposition d'ensemble de ces canalisations et des collecteurs de vapeur.

Pour chaque usine, huit canalisations aériennes reçoivent la vapeur des chaudières et deux collecteurs la concentrent. Ces deux collecteurs, placés contre les coffres d'aérage, sont reliés, en outre, par une conduite spéciale de communication.

L'usine Suffren correspond aux machines des sections étrangères et l'usine La Bourdonnais à celles des sections françaises. Les premières sont desservies par huit canalisations souterraines et les secondes par huit autres canalisations, également souterraines.

Une dix-septième canalisation, placée perpendiculairement à la direction générale des seize autres, assure la communication entre les deux groupes principaux.

Le seconde condition du projet fixe à 230 mm. le diamètre de toutes les canalisations générales de vapeur et à 4^m,40 la longueur de chaque tuyau qui entre dans leur composition.

L'uniformité du diamètre avait pour but de faciliter la fabrication et le montage des conduites, ainsi que la fourniture de tous les appareils accessoires qu'elles comportaient, quitte à installer double canalisation lorsque la consommation de vapeur des machines correspondantes dépasserait le débit d'une seule.

Le diamètre de 230 mm. a été déterminé par l'importance des machines elles-mêmes et, en particulier, par la puissance des groupes électrogènes, qui atteignait et dépassait quelquefois 2 000 chevaux.

La puissance moyenne des 37 groupes étant de 1 000 chevaux environ, la consommation horaire de vapeur devait donc être comprise entre 8 000 et 18 000 kg. pour chacun d'eux. En admettant pour la vapeur une vitesse de 25 m., chaque canalisation de 230 mm. devenait capable de fournir 23 000 kg. à l'heure, c'est-à-dire la quantité moyenne nécessaire à l'alimentation de deux groupes électrogènes.

L'adoption d'un diamètre plus grand aurait présenté quelques difficultés au point de vue de l'encombrement des tuyauteries, par suite du diamètre des brides et des dimensions des appareils accessoires. De plus, comme tout le matériel devait être fourni en location, il y avait lieu de tenir compte de son réemploi dans l'industrie après la clôture de l'Exposition, et de s'arrêter à des dimensions qui pouvaient permet-

tre aux fournisseurs d'établir un prix raisonnable en vue du placement de ce matériel même.

Enfin, la longueur de 4^m,40 a été adoptée pour obtenir une concordance avec la longueur des tuyaux composant les canalisations d'eau. Celles-ci devant être placées également dans les galeries souterraines, il était intéressant d'employer les mêmes ouvertures latérales, percées dans la maçonnerie, pour le passage des branchements de vapeur et d'eau de chaque machine.

La troisième condition d'établissement du projet porte sur la dilatation, la pente et le calorifuge.

On verra, par la suite, les dispositions de détail qui ont été prises pour faciliter les mouvements de translation dus aux variations de température des conduites. Afin de régulariser et de compenser ces mouvements les canalisations sont divisées, sur leur longueur, en sections de 30 m. environ, capables de se dilater indépendamment les unes des autres. A l'une des extrémités de chaque section, on a établi un point fixe de butée, pour obliger la conduite correspondante à se dilater vers un presse-étoupes fixé solidement à l'autre extrémité.

La pente générale dans le sens de l'écoulement de la vapeur a pour but de permettre à l'eau entraînée ou condensée de s'écouler vers des points bien déterminés, où son évacuation est assurée au moyen d'appareils spéciaux. Cette disposition a été rigoureusement vérifiée de façon à éviter les ruptures désastreuses que produisent les coups d'eau dans les conduites à hautes pressions.

L'adjonction d'enveloppes calorifuges pour toutes les canalisations, aériennes et souterraines, et pour tous les branchements des exposants a été imposée en vue des dangers d'incendie. On a employé, pour les conduites générales dont nous nous occupons, du carton plissé, analogue à celui qui sert à l'emballage des lampes à incandescence, et silicaté. La pose en est très facile, le prix peu élevé et les expériences qui ont été faites par la Préfecture de Police ont montré sa parfaite incombustibilité.

Les grandes lignes du projet de distribution de la vapeur étant ainsi établies, nous allons examiner maintenant la façon dont il a été réalisé.

2° Fourniture de la tuyauterie et des pièces accessoires.

La fourniture des canalisations de vapeur et pièces accessoires et leur entretien pendant toute la durée de l'Exposition, ont été mis au concours par la direction générale de l'Exploitation, avec un programme basé sur les indications que nous avons données précédemment.

Aucune disposition de détail n'était imposée aux constructeurs, chacun d'eux avait au contraire la faculté de proposer toutes celles qui lui semblaient avantageuses.

L'ensemble de la fourniture comprenant des travaux de chaudronnerie et des appareils mécaniques spéciaux, et la pose ainsi que l'entretien de tout ce matériel s'appliquant à plusieurs spécialités, l'administration avait spécifié dans le cahier des charges que les propositions pourraient être faites par un consortium formé d'industriels appartenant à ces diverses spécialités, mais agissant conjointement et solidairement. De plus, le Jury devait tenir compte, non seulement des prix demandés par chaque concurrent, mais encore des garanties présentées pour les organes au point de vue de la construction et de la sécurité.

La fourniture comprenait deux lots, l'un pour l'usine Suffren, l'autre pour l'usine La Bourdonnais ; mais ces deux lots pouvaient également être attribués à un seul adjudicataire. Après avoir entendu le rapport de M. Walckenaer, Ingénieur en chef des mines, le Jury, présidé par M. Delaunay-Belleville, Directeur général de l'Exploitation, a attribué les deux lots au consortium formé par les industriels suivants :

La Société des générateurs Mathot, à Rœux-lez-Arras, pour la chaudiurerie.

MM. Muller et Roger, constructeurs à Paris, pour la partie mécanique.

MM. Supervielle et Pellier, Entrepreneurs de travaux publics, à Paris pour la pose et l'entretien du matériel.

Le montant de l'entreprise s'est élevé à la somme de 373787 francs, suivant détails compris dans le tableau suivant, dont les prix unitaires comprennent : la fourniture en location, la pose, les essais, l'entretien pendant toute la durée de l'Exposition, les frais d'aménagement des galeries, les colliers d'attache et autres pièces d'attache à la demande, les enveloppes calorifuges, la dépose et le transport après la clôture de l'Exposition.

DÉSIGNATION DES PIÈCES	Nombre de pièces	Prix militaires	Sommes
		Francs	Francs
Tuyaux de 0 ^m ,250 intérieur et 4 ^m ,400 de longueur avec tubulures, joint plein, brides, boulons	252	308	77 616
Tuyaux de 0 ^m ,250 intérieur et 4 ^m ,400 de longueur avec brides et boulons.	278	274	76 172
Tuyaux de 0 ^m ,250 intérieur et 3 m de longueur avec brides et boulons.	50	228	11 400
Tuyaux de 0 ^m ,250 intérieur et 2 m de longueur avec brides et boulons.	110	165	18 150
Tuyaux de 0 ^m ,250 intérieur et 1 m de longueur avec brides et boulons.	50	124	6 200
Tuyaux de 0 ^m ,100 intérieur et 5 m de longueur pour échappements de vapeur	80	162	12 960
Tuyaux de 0 ^m ,075 × 0 ^m ,082 et 4 ^m ,400 de longueur soudés à recouvrement	75	93	6 975
Supports en fonte à une branche (corbeaux) pour tuyaux de 0 ^m ,250	250	20	5 000
Supports en fonte à une branche (corbeaux) pour tuyaux de 0 ^m ,100.	100	14	1 400
Supports à 2 branches, sous voûte	170	35	5 950
Supports en fonte sur murettes, avec galets.	670	25	16 750
Bouteilles de purge de 0 ^m ,800 de diamètre et et 0 ^m ,870 de longueur.	20	385	7 700
Réervoirs-collecteurs de 3 m de longueur, avec 9 tubulures de 0 ^m ,250, 2 tubulures de 0 ^m ,030 et niveau d'eau.	4	1 940	7 760
Supports de ces réservoirs.	8	84	672
Manchons, points fixes avec leur support en fer □	45	187	8 415
Coudes au quart, de 0 ^m ,250 intérieur.	74	231	17 094
Coudes au huitième allongés, de 0 ^m ,250 intérieur	25	186	4 650
Tés de 250 × 250.	30	159	4 770
Tés en fonte de 100 × 60 pour tuyaux d'échappement	50	37	1 850
Tés en fonte de 75 × 70.	20	29	580
Raccords spéciaux	20	35	700
Brides avec tubulures diverses, à entonnoir.	25	40	1 000
Brides à bouclier.	5	45	225
Vannes de 0 ^m ,250 droites	57	775	44 175
Boîtes à dilatation avec leurs supports en fer □	39	726	28 314
Boîtes à dilatation avec joint à tubulure de purge et supports en fer □.	11	837	9 207
Purgeurs automatiques de 0 ^m ,030 avec leur canalisation	74	102	7 548
Purgeurs à main de 0 ^m ,030 avec leur canalisation.	8	56	448
Purgeurs à main de 0 ^m ,015 avec leur canalisation	20	25	500
Brides pleines pour tuyaux de 0 ^m ,250 intérieur	40	29	1 160

DÉTAILS DE CONSTRUCTION.

Tuyaux de 0^m,250 intérieur.— Les tuyaux de longueur courante, 4^m,400, comme nous l'avons vu, sont composés de viroles cylindriques en tôle d'acier Martin Siemens basique des aciéries de Denain, donnant 38 à 42 kg. de résistance et 22 à 24 0/0 d'allongement. L'épaisseur des tôles est de 6 mm. Ces tuyaux portent, à leurs deux extrémités, des brides en acier forgé embouti, évasées sur le tour avant rivetage, suivant un calibre rigoureux.

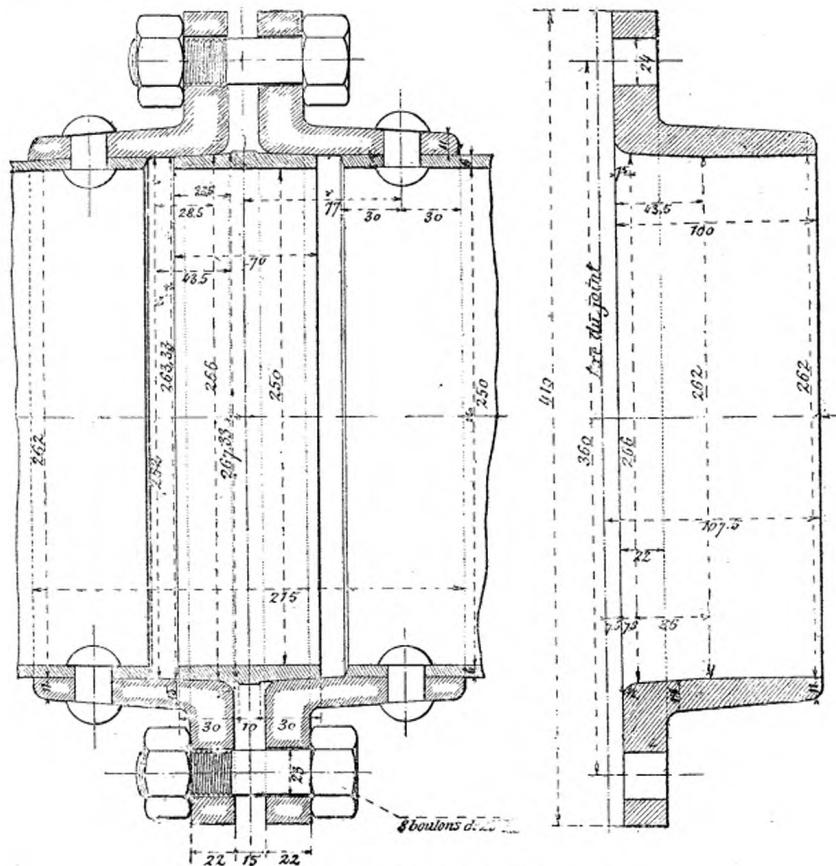


Fig. 83. — Joint biconique pour tuyaux de 0^m,250.

On a employé, pour les joints, des bagues biconiques, en acier ou en fer tourné et poli, analogues à celles qui sont employées dans les chaudières multitubulaires de Naeyer.

Les trois viroles qui composent chaque tuyau ont une longueur

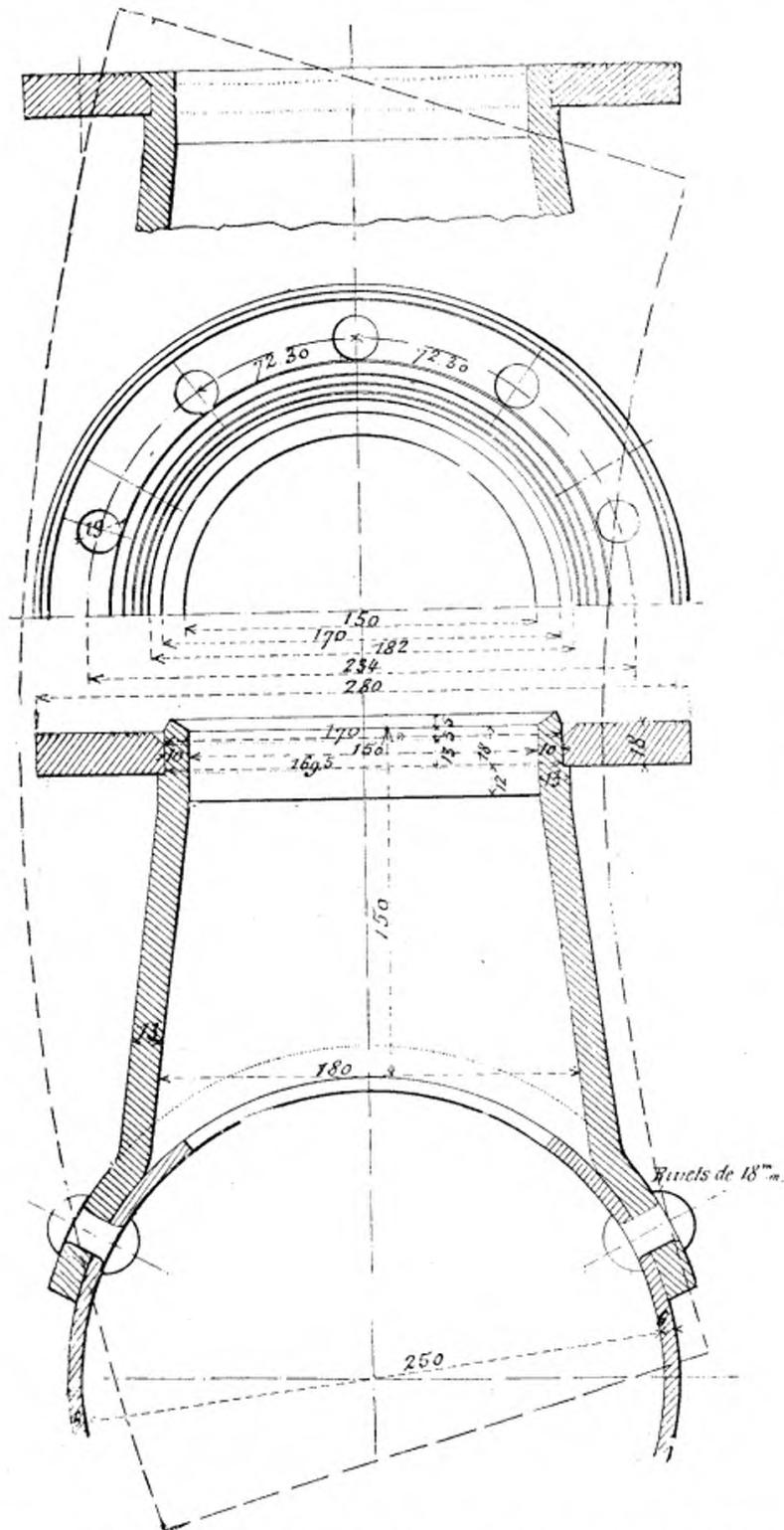


Fig. 84. — Tubulation de tuyau de 0^m,230.

commune de 1^m,410, de rivure à rivure, ce qui donne pour les trois

viroles, une longueur utile de 4^m,230 ; les deux viroles d'extrémité ont un diamètre de 250 mm. intérieur, celle du milieu a 262 mm. Avec les brides, la longueur totale est de 4^m,383, de sorte qu'il reste un jeu de 15 mm. entre les brides de deux tuyaux consécutifs.

Pour les tuyaux de longueurs réduites, ne comportant que deux viroles, on a employé des viroles coniques avec un diamètre minimum de 230 mm.

Un certain nombre de tuyaux portaient, à 300 mm. de l'une des extrémités, une tubulure de 150 mm., en tôle d'acier soudée, avec bride posée à chaud et collet rabattu, pour le raccordement des branchements des machines exposées ou groupes électrogènes du service de la force motrice.

Une feuille de tôle en acier extra-doux, dont le gabarit de forge est indiqué en ligne ponctuée sur la fig. 84 et qui est ensuite découpée à l'atelier suivant le développement géométrique, permet de former un tronc de cône soudé dont la petite base est tournée de façon à former un repos de 3 mm. pour la bride ; celle-ci est placée à chaud et le métal du cône est rabattu à froid dans sa gorge.

A l'intérieur des brides la conicité, de 4 mm. sur le diamètre, existe sur une longueur de 36 mm. Cette conicité est la même pour les bagues, mais sur une longueur de 28 mm. seulement, la longueur totale des bagues n'étant que de 70 mm.

Tous les tuyaux ont été essayés aux ateliers de Rœux et soumis à une pression hydraulique de 20 kg. par centimètre carré, avant d'être reçus par le contrôleur du service des installations mécaniques de l'Exposition.

Supports en fonte à une branche ou corbeaux. — Ces supports sont destinés à porter les tuyaux de 250 et de 100 mm. des conduites aériennes, dans les bâtiments de chaudières.

Ils se composent d'une console à nervure et d'un patin de fixation percé de quatre trous ovalisés de 17×37, distants horizontalement de 66 mm. Deux oreilles à encoches, venues de fonte avec la console, reçoivent l'axe du rouleau qui supporte le tuyau ; cet axe, en fer, est noyé dans la fonte du rouleau. (Voir le croquis fig. 85).

Supports à deux branches sous voûte. — Nous verrons, dans l'installation des canalisations souterraines, que certaines conduites de 0^m,250 ont été prévues pour amener la vapeur aux machines les plus

éloignées, sans recevoir sur leur parcours aucun branchement particulier; ces canalisations ont, en quelque sorte, un rôle analogue aux feeders dans les réseaux de distribution du courant électrique.

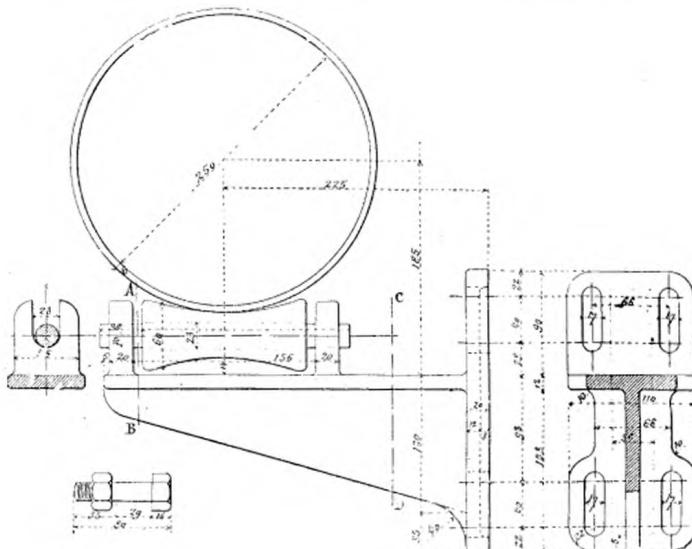


Fig. 85. — Support à une branche pour tuyau de 0m,250.

Les supports à deux branches sous voûte, prévus au cahier des charges, étaient destinés à porter ces conduites, en prenant seulement comme point d'appui un scellement en fer plat de 60 >< 18, établi dans les voûtes des galeries souterraines par les soins de l'Administration.

A ce scellement on a fixé, par deux boulons, une charnière femelle, sur laquelle s'articulait une tige en fer rond de 25 mm. filetée à l'extrémité. Cette tige pouvait supporter un poids de 3 000 kg., en travaillant à 6 kg., et présentait une résistance à la rupture de 17 500 kg.

Une contre-plaque, en fer plat de 120×6 , percée de trous ovalisés, est prise par les boulons de la charnière; elle porte dans sa partie coudée une échancrure dans laquelle peut coulisser la tige de 25 mm. La position du support se règle donc facilement en direction et la traverse qui reçoit directement le tuyau peut descendre ou monter à volonté.

Supports en fontes sur murettes. — Les supports en fonte sur murettes sont destinés à recevoir les canalisations des galeries souterraines.

Ils ne diffèrent des supports à une branche précédents que par la forme des patins en fonte, qui sont scellés sur les murettes construites dans les galeries souterraines.

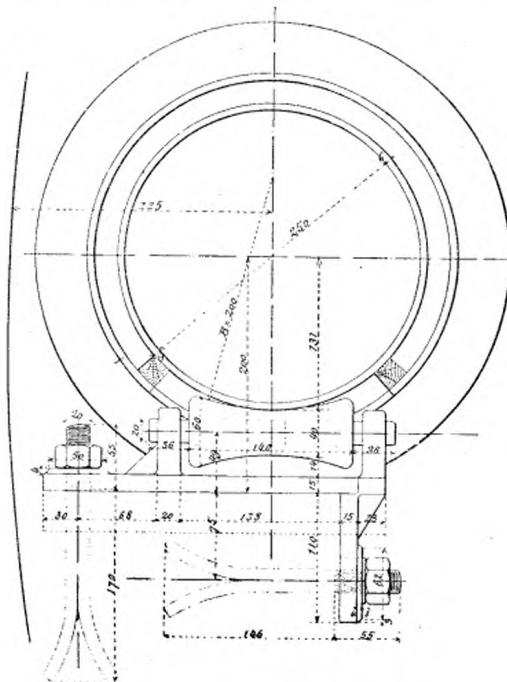


Fig. 86. — Support en fonte sur murette de galerie souterraine.

Ces supports sont de plusieurs modèles, différant entre eux par l'importance seule de l'encorbellement, afin de maintenir l'axe des tuyaux à la même distance de la paroi des galeries, quelle que soit la largeur des murettes.

Bouteilles de purge. — Ces bouteilles sont obtenues avec des petits réservoirs cylindriques de 0^m,800 de diamètre et 0^m,870 de longueur, formés d'une seule virole de 11 mm. d'épaisseur et de deux fonds, l'un convexe, l'autre concave, de 12 mm. d'épaisseur chacun.

La bouteille porte une tubulure en acier embouti, de 70 mm. de diamètre intérieur, construite de la même façon que les tubulures des tuyaux de vapeur, et destinée à recevoir le tuyau d'arrivée des eaux de condensation.

Une autre tubulure double, en bronze, prolongée à l'intérieur de la bouteille par un tube plongeur assure une communication constante

avec deux purgeurs automatiques installés dans le voisinage de la bouteille. Un robinet de purge, à main, permet en outre de vider la bouteille, au cas où les purgeurs automatiques ne fonctionneraient pas.

Ces récipients ont été considérés comme réservoirs de vapeur et timbrés à 12 kg. par le service des mines.

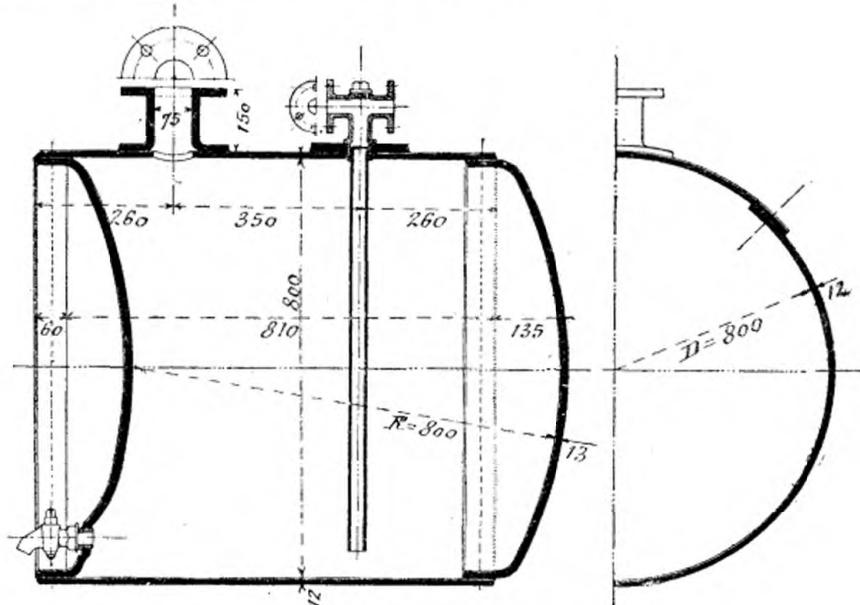


Fig. 87. — Bouteille de purge.

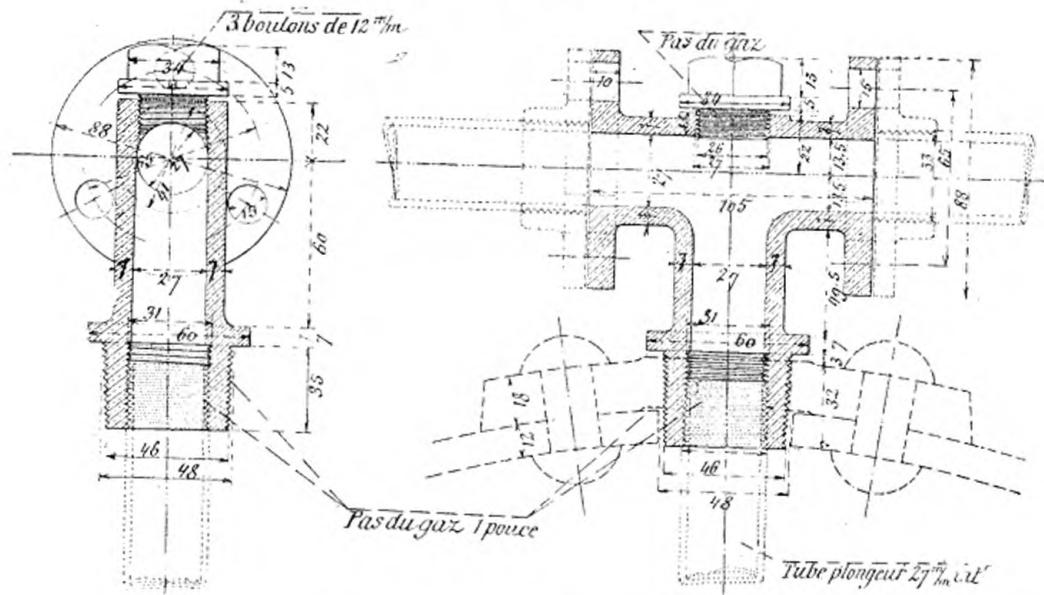


Fig. 88. — Détails de la bouteille de purge.

Réservoirs-Collecteurs. — Nous avons dit que quatre collecteurs

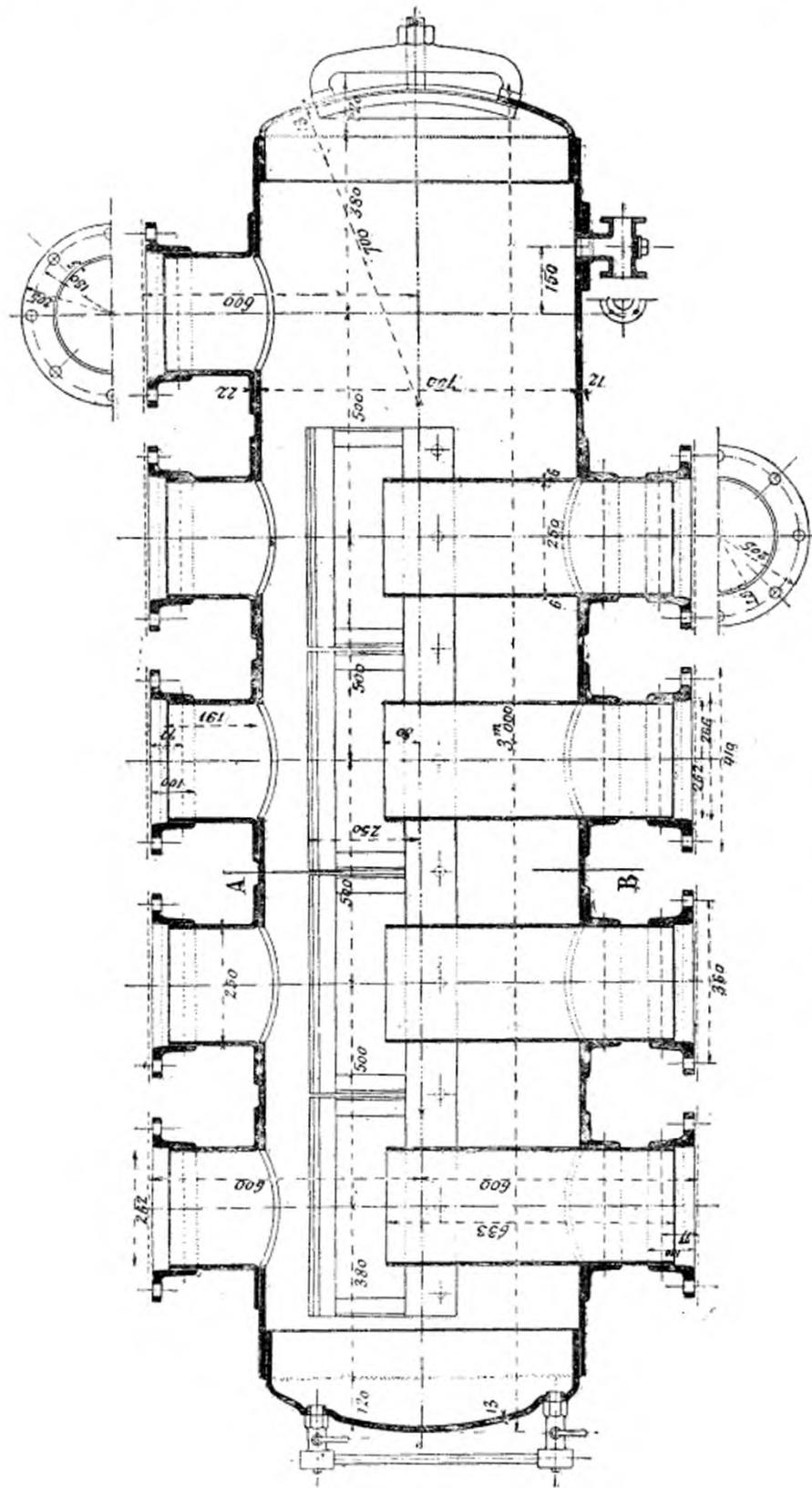


Fig. 89. — Collecteurs de vapeur. — Coupe longitudinale.

de vapeur étaient placés dans les deux usines, à raison de deux par usine, pour servir de réservoirs intermédiaires entre les canalisations aériennes, qui reçoivent la vapeur des chaudières, et les canalisations souterraines qui distribuent cette vapeur aux machines.

Chacun de ces réservoirs, de 0^m,700 de diamètre et 3 m. de longueur était placé horizontalement en avant des coffres d'aérage des galeries souterraines, à 1 m. environ au-dessus du niveau du sol. Les tubulures

supérieures recevaient les extrémités des quatre conduites aériennes correspondantes et de la conduite de communication qui reliait les deux collecteurs de chaque usine.

Les quatre tubulures inférieures, destinées aux conduites souterraines, sont prolongées à l'intérieur du collecteur, sur une hauteur de 0^m,400, de façon à ne laisser passer que de la vapeur sèche dans les tuyaux de distribution, l'eau entraînée restant au fond du récipient.

Un parapluie en tôle et cornières, disposé à l'intérieur du collecteur facilite la séparation de l'eau et de la vapeur, en offrant aux gouttelettes d'eau

un écoulement continu jusqu'aux parois cylindriques et par suite jusqu'au fond du réservoir.

Un trou d'homme, ménagé sur l'un des fonds, permet de visiter l'appareil et un niveau d'eau, monté sur l'autre fond, indique à chaque instant, la quantité d'eau contenue. Enfin, une tubulure double assure la communication constante avec les deux purgeurs automatiques voisins.

Manchons points fixes. — Les manchons servant de points fixes sont installés à une extrémité de section de conduite pour obliger la dilatation à se produire vers le presse-étoupes de l'autre extrémité opposée ;

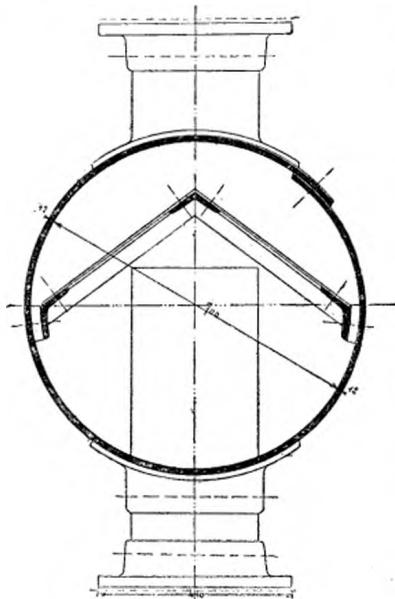


Fig. 90. — Collecteur de vapeur.
Coupé transversale.

ils portent donc un patin de fixation relié par des nervures à la partie cylindrique.

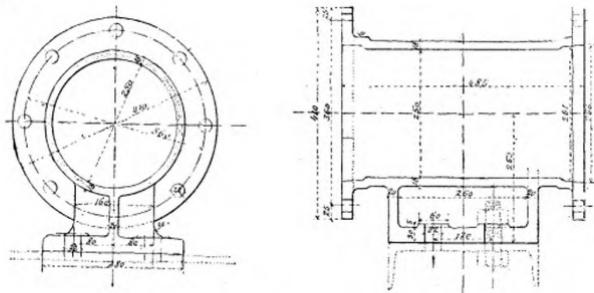


Fig. 91. — Manchon point fixe.

Pièces diverses. Raccords spéciaux. — Les coudes au 1/4, au 1/8, les tés, brides diverses et raccords spéciaux ne présentent rien de particulier dans leur construction. Nous donnons, fig. 92 et 93, les croquis d'une bride de raccordement et d'une bride à bouclier qui répondent à deux conditions spéciales.

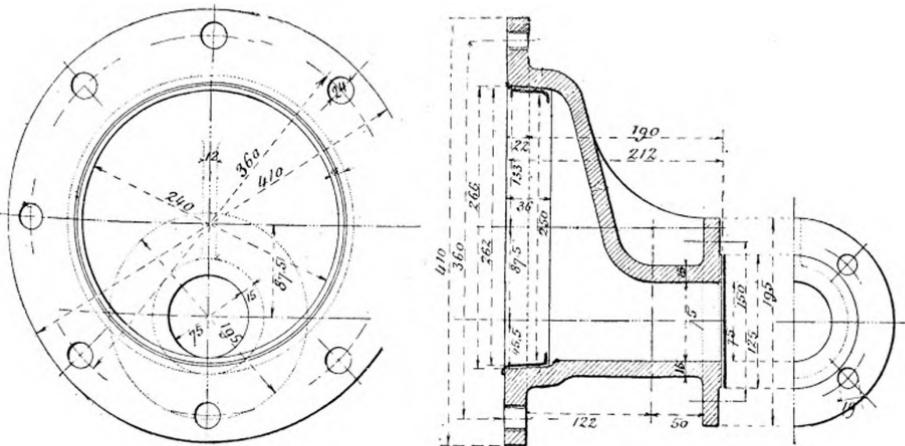


Fig. 92.

La bride à bouclier, fig. 93, a pour but d'arrêter, en des points déterminés, les eaux condensées dans les parties plus hautes des canalisations. On dispose, à cet effet, un plateau-bride qui porte sur sa face interne une sorte d'écran recourbé A, placé dans la direction voulue pour arrêter

l'eau. Celle-ci s'écoule alors par un tuyau purgeur qui vient se visser à

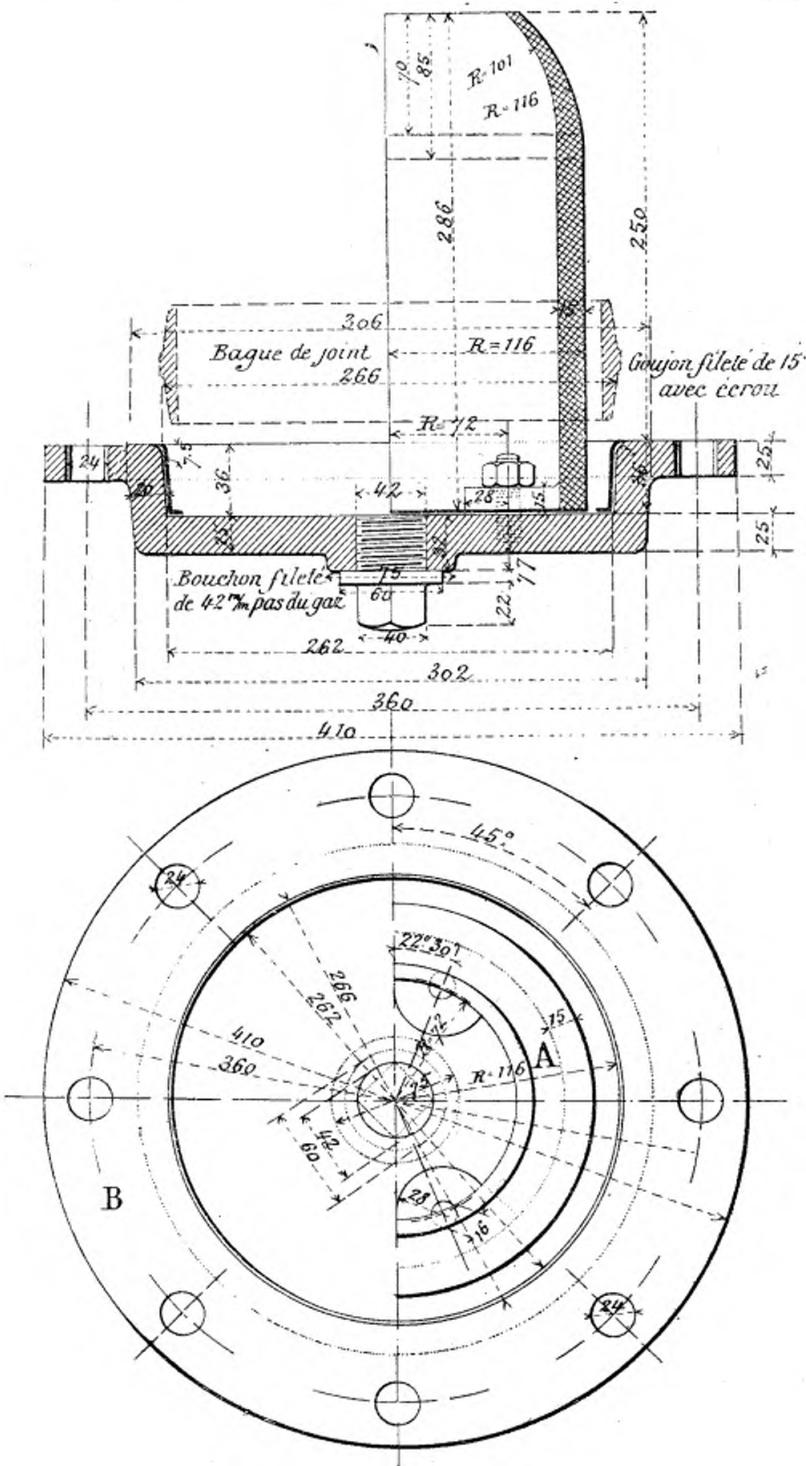


Fig. 93.

la place du bouchon fileté placé au fond de la cuvette B.

La bride de raccordement, fig 92, a permis de prolonger, avec un diamètre réduit à 75 mm., les grosses canalisations de 250 mm., jusqu'aux emplacements réservés à des machines très éloignées des usines (Industries chimiques etc...), pour lesquelles la consommation de vapeur était très faible. Ces tuyaux de 75 mm. sont en acier soudé à recouvrement; ils portent à leurs extrémités des brides brasées et les tubulures de prise de vapeur sur ces tuyaux sont obtenues au moyen de simples tés en fonte.

Appareils divers. — Les autres appareils, robinets-vannes, purgeurs automatiques système Geipel, boîtes à dilatation, purgeurs à main, etc... sont de la fabrication courante de la maison Muller et Roger. Nous aurons l'occasion de les examiner au dernier chapitre de ce travail, quand nous parlerons des appareils accessoires des générateurs.

3^e Pose de la tuyauterie générale.

Installation des canalisations aériennes de vapeur.

Nous donnons, Pl. 27, les dessins du bâtiment des chaudières de l'usine La Bourdonnais, avec le tracé des conduites de vapeur aériennes et leurs raccordements aux deux réservoirs collecteurs de vapeur.

L'installation de l'usine Suffren est identique, à quelques détails près.

Le bâtiment des chaudières a une longueur de 100 m., et une hauteur de 14^m,40, sous le faitage du lanterneau ; les fermes métalliques qui le composent ont une portée de 28 m. Les collecteurs sont placés devant les deux coffres d'aérage qui surmontent les orifices de sortie des galeries souterraines.

Les canalisations de vapeur de 250 sont suspendues aux parois longitudinales, à 4^m,75 au-dessus du niveau du sol, avec un intervalle de 0^m,50 dans le sens vertical. Elles reposent sur les supports à une branche ou corbeaux dont nous avons parlé précédemment. La distance de l'axe du rouleau, et par conséquent de l'axe d'un tuyau, à la face de la charpente métallique est constante et égale à 225 mm. ; la charpente étant réglée, les conduites se trouvent réglées elles-mêmes en direction. Quant au réglage en hauteur, il est obtenu par les trous ovalisés des patins de corbeaux, qui permettent d'élever ou d'abaisser le rouleau de support.

Ces canalisations longitudinales se retournent dans la direction transversale du bâtiment pour aller rejoindre les collecteurs, comme l'indique le plan. Elles sont alors suspendues aux fermes par des câbles minces en acier.

De distance en distance, les tuyaux de 250 portent des tubulures de 150 mm. pour le raccordement avec les chaudières correspondantes.

Au-dessus de la canalisation supérieure de 250, règne une conduite de 100 mm. de diamètre, portant des tubulures de 60 mm. pour recevoir les échappements des chevaux alimentaires. Cette conduite vient aboutir aux deux coffres d'aérage où la vapeur peut s'échapper à l'air libre.

Enfin, dans le sol, sont placées deux canalisations d'eau : l'une de 200 mm., avec tubulures de 60 mm., pour l'alimentation des chaudières, l'autre de 100 mm. pour la vidange. La première est reliée aux conduites à haute pression de la ville, la seconde est réunie au collecteur général d'écoulement des eaux chaudes qui règne sous le Champ-de-Mars et aboutit à la Seine.

Installation des réservoirs-collecteurs de vapeur.

Cette installation ne présente rien de particulier. Les réservoirs étaient maintenus par un support métallique en fer cornière, muni d'un échelle et d'un plancher en tôle striée, pour faciliter l'accès des vannes supérieures.

Les cinq canalisations d'arrivée de vapeur portaient chacune une vanne de commande de 250 mm., de même que les quatre canalisations de départ. Pour faciliter la manœuvre de ces vannes, des « by-pass » avaient été installés sur les tubulures de chaque collecteur.

De plus, une conduite d'air comprimé aboutissait au réservoir avec quatre branchements, munis de robinets, qui pénétraient dans les canalisations de départ. On pouvait ainsi, avant la mise en marche, purger les conduites souterraines de l'eau qui pouvait s'être accumulée en quelques points ; de plus, la chasse d'air comprimé permettait à l'équipe d'entretien, qui opérait la nuit, d'essayer les joints resserrés et de s'assurer, pendant la visite, de l'importance des fuites signalées dans le cours du service.

Installation des canalisations souterraines de vapeur.

L'importance et le nombre des machines à vapeur qui devaient fonc-

tionner au Champ-de-Mars, pour le service de la force motrice ou comme appareils simplement exposés, nécessitaient une installation très complète de canalisations de vapeur, d'eau froide et de retour d'eau chaude, dont l'accès et la visite régulière devaient être assurés d'une manière irréprochable pendant les heures mêmes de fonctionnement des machines.

Dans ces conditions, M. Bourdon, ingénieur en chef des installations mécaniques, fût amené à établir un projet de construction de galeries souterraines dont le réseau couvrait la plus grande partie des emplacements réservés aux groupes électrogènes et aux machines en mouvement.

Abstraction faite des conduites d'eau à moyenne pression destinée au rafraîchissement des moteurs à gaz, et des conduites d'air comprimé, ces galeries souterraines devaient renfermer :

Une canalisation d'eau froide de 0^m,400 à 0^m,800 de diamètre.

Une canalisation de retour d'eau chaude de 0^m,428 à 0^m,838 de diamètre.

Deux, trois ou quatre canalisations de vapeur de 250 mm. de diamètre chacune.

Une canalisation de retour des purges de 100 mm.

Il fallait, en outre, ménager un passage suffisant pour la circulation du personnel chargé de l'entretien et de la surveillance de ces canalisations et loger, en des points déterminés, les appareils accessoires que nous avons énumérés dans un chapitre précédent : robinets-vannes, manchons de dilatation, bouteilles de purge, purgeurs automatiques, etc... dont l'accès devait être rendu aussi commode que possible.

La répartition des machines françaises et étrangères dans le groupe IV conduisit M. Bourdon à adopter, pour le réseau des galeries souterraines, le tracé figuré *Pl. 27*. Les emplacements et groupements possibles de ces mêmes machines l'aménèrent à concevoir pour ces galeries quatre sections transversales de dimensions différentes (voir *Pl. 28*), savoir :

Galerie type N° 1	Ouverture 2 ^m ,60	Hauteur sous intrados 2 ^m ,70
id. N° 2	id. 2 ^m ,40	id. 2 ^m ,60
id. N° 3	id. 2 ^m ,00	id. 2 ^m ,60
id. N° 3 bis	même section que le type N° 3, mais sans murettes latérales.	

Des chambres furent ménagées aux intersections de ces galeries pour recevoir les appareils accessoires, les regards de descente, etc... ;

leurs dimensions, 4^m,50 sur 4^m,50, étaient données par la longueur des tuyaux composant les canalisations (4^m,40), afin qu'il soit possible de ménager des trappes pour permettre le passage d'un tuyau en cas de réparation.

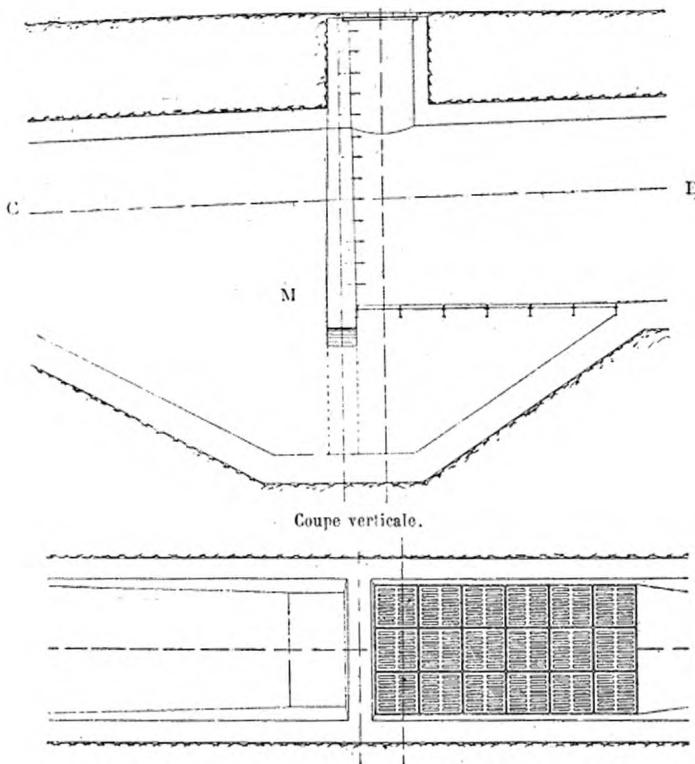


Fig. 94. — Siphons des galeries souterraines.

Toutes ces galeries communiquaient avec les quatre coffres d'aérage, placés dans les bâtiments de chaudières des deux usines, et des bouches d'aération étaient ménagées aux extrémités des branchements en cul-de-sac, avec échelons de descente pour le personnel.

Enfin en A, A', Q et Q', les galeries se reliaient avec les égouts de la ville. En ces points particuliers, des précautions avaient été prises pour éviter le retour des odeurs des égouts et l'invasion des rats dans les galeries souterraines. Un siphon formant joint hydraulique fig. 94), constitué par une cloison M de 0^m,40 d'épaisseur, bouchait la communication jusqu'à 0^m,30 au-dessus du niveau du radier établi en approfondissant

le sol de la galerie de 2 m. environ. La surface était dégagée du côté de l'égout, mais du côté des galeries, une grille en fonte, formée de 18 panneaux de 0^m,60 sur 0^m,66 interceptait le passage.

Construction des galeries souterraines

La construction des galeries souterraines fut mise en adjudication sur les conditions du cahier des charges que nous reproduisons ci-après et qui donne les indications utiles à la construction.

Devis et cahier des charges particulier. — L'Entreprise a pour objet :

1^o La construction d'une série de galeries souterraines de différentes sections dans lesquelles seront placées les canalisations d'eau et de vapeur nécessaires au service de la force motrice, et qui seront établies dans toute la partie des nouveaux palais du Champ-de-Mars réservée aux expositions des classes de la mécanique, de l'électricité et des industries chimiques.

2^o L'exécution de tous les ouvrages accessoires, tels que : chambres ménagées aux intersections des galeries pour la descente des tuyaux, regards de descente, cheminées d'aérage, cloisons formant joint hydraulique, passages de galeries sous voie ferrée, murettes en maçonnerie servant à supporter et à buter les tuyaux d'eau, panneaux de bois recouvrant les ouvertures des chambres, des regards et des cheminées d'aérage, échelles de descente, ouvertures latérales pratiquées dans les voûtes pour le passage des tuyaux de prise d'eau et de vapeur, ouvertures dans la clef de voûte destinées à recevoir ultérieurement les scellements des supports de tuyaux de vapeur, pattes à scellement, etc...

Le tout tel qu'il est figuré aux dessins ci-annexés et décrit au présent devis et cahier des charges.

ART. 2. — L'adjudication est faite aux prix du bordereau ci-joint.

Le montant de l'entreprise est évalué à 369 611 francs, non compris une somme de 36 961 francs pour dépenses en régie et imprévus.

ART. 3. — Chaque postulant à l'adjudication devra justifier, en déposant sa soumission, du versement préalable à la Caisse des dépôts et consignations d'un cautionnement provisoire de 12 000 francs. Ce cautionnement provisoire servira à l'adjudicataire de cautionnement définitif pour la garantie de l'exécution de son marché.

ART. 4. — Les travaux seront commencés huit jours après la date de la remise de l'ordre de service d'exécution par l'Ingénieur principal des installations mécaniques et, au plus tôt, le 1^{er} juin 1898. Ils se poursuivront sans interruption et de manière à être achevés dans les délais fixés par les ordres de service, qui n'excèderont pas, au total, une durée de six mois.

L'Ingénieur principal aura le droit de déterminer au commencement de chaque mois l'importance

et la nature du travail à exécuter pendant le mois courant, ainsi que le nombre et l'importance des ateliers à ouvrir.

ART. 5. — Les travaux seront dirigés suivant l'ordre qui aura été établi par l'Ingénieur principal et l'adjudicataire devra prendre toutes les dispositions nécessaires pour faciliter l'exécution des travaux des entreprises diverses qui se poursuivront simultanément avec la sienne.

Il ne pourra de ce fait, exiger aucune plus-value et n'aura droit à aucune indemnité, lors même que l'application des ordres donnés lui occasionnerait une main-d'œuvre et des frais supplémentaires.

L'adjudicataire sera tenu d'avoir toujours sur les chantiers les quantités de matériaux en approvisionnement et le nombre d'ouvriers prescrit par l'Ingénieur principal.

Il ne pourra détourner pour un autre service aucun ouvrier, ni aucune partie des matériaux approvisionnés.

ART. 6. — L'Entrepreneur ne pourra employer à ses travaux plus d'un dixième d'ouvriers étrangers.

ART. 7. — Faute par l'entrepreneur d'avoir terminé ses travaux dans le délai fixé pour les ordres de service, chaque jour de retard, non justifié, donnera lieu à une retenue de 50 francs.

Les retenues ainsi opérées seront acquises à l'Administration par le seul fait des retards sans qu'il soit besoin de mise en demeure où autre formalité préalable.

Cette pénalité s'appliquera aussi aux retards apportés dans la remise des attachements et décomptes, mais, dans ce cas, elle sera seulement de 20 francs par jour.

Dans le cas où l'exécution des travaux se trouverait entravée par une circonstance indépendante de l'Entrepreneur, telle que : retard dans la mise en possession des emplacements, inondation des fouilles, etc... l'adjudicataire serait admis à présenter dans les vingt-quatre heures une réclamation au Directeur général de l'Exploitation ; les délais seraient prolongés, s'il y avait lieu, en raison du temps perdu ; mais il ne serait dû à l'Entrepreneur aucune indemnité pour cela.

Toute réclamation tardive sera considérée comme nulle et non avenue.

Exécution des ouvrages.

ART. 8. — Les travaux à exécuter par l'adjudicataire comprennent :

1^o Toutes opérations de piquetage et de nivellement.

2^o Toutes fouilles, tous chargements et transports de terre dans le Champ-de-Mars, mise en cavalier, reprise de ces terres, remblayage, régâlage, pilonnage et damage.

3^o Toutes fournitures, poses et déposes d'échafaudages ou de blindages.

4^o Tous époulements d'eau.

5^o Toutes démolitions de vieilles maçonneries rencontrées dans les fouilles.

6^o Toutes maçonneries.

7^o La fourniture et la pose des panneaux en sapin pour la fermeture des regards, des échelons en fer, des échelles de descente, des pattes à scellement, des planchers métalliques recouvrant les chambres, des grilles situées en avant des cloisons formant joint hydraulique, des garde-corps provisoires ou mobiles.

8^o La fourniture et la pose des douelles en sapin destinées à recouvrir provisoirement les ouvertures latérales pratiquées dans les voûtes.

ART. 9. — L'Entrepreneur aura à exécuter toutes les opérations, de quelque nature qu'elles soient, nécessaires au dégagement des espaces dans lesquels se trouveront les galeries et, s'il y a lieu, au remblayage, jusqu'à la côte donnée par l'Administration, des excavations qui subsisteront après l'exécution des maçonneries.

Pour ce remblayage, les terres seront mouillées et pilonnées par couches de 0^m,20.

Toutes les fois que le terrain ne paraîtra pas présenter la consistance voulue pour recevoir la maçonnerie, il pourra y avoir lieu, sur ordre de l'Ingénieur principal, à approfondissement de la fouille et confection d'une forme en sable et cailloux.

La remise en état de la forme du sol se fera à l'aide de terres mouillées et pilonnées, ou de sable et cailloux dans les mêmes conditions, par couches de 0^m,10 d'épaisseur sur 0^m,20 d'épaisseur totale.

ART. 10. — Le mortier n° 1 sera composé de 350 kg. de ciment de Vassy ou analogue, au choix de l'Administration, par mètre cube de sable dragué.

Le mortier n° 2 sera composé de 450 kg. de ciment Vassy ou analogue par mètre cube de sable dragué.

Le mortier n° 3 sera composé de 900 kg. de ciment de Vassy ou analogue par mètre cube de sable tamisé.

Le mortier n° 4 sera composé de 650 kg. de ciment de Portland par mètre cube de sable tamisé.

Dans le cas de l'emploi de ciment de laitiers, la proportion deviendrait, pour le mortier n° 1 de 300 kg. de ciment par mètre cube de sable.

Le ciment de laitiers ne sera pas admis dans les mortiers 2, 3 et 4.

ART. 11. — Le gros œuvre des galeries souterraines et des chambres sera construit en meulière hourdée de mortier de ciment n° 1. La pierre sera saine, légère et poreuse, et ne devra être recouverte d'aucune matière étrangère, terre glaise ou sable: celle qui ne serait pas parfaitement nettoyée serait rigoureusement refusée.

Les voûtes de galeries seront recouvertes extérieurement par une chape en mortier de ciment n° 2.

A l'intérieur, les voûtes et les piédroits des galeries, ainsi que les parois verticales des chambres, regards, cheminées d'aérage, etc... seront recouverts d'un enduit de 0^m,01 d'épaisseur de mortier de ciment n° 3.

Le radier des galeries et des chambres sera rejointoyé au mortier, et en outre, recouvert d'un enduit de 0^m,02 d'épaisseur en mortier de ciment de Portland n° 4.

Les murettes destinées à supporter les conduites d'eau chaude et d'eau froide, seront construites après les parois des galeries, et avant l'exécution des enduits qui seront raccordés avec la base des piédroits par un solin de 0^m,06 de hauteur; elles auront une épaisseur de 0^m,30 au moins; elles seront exécutées conformément aux profils indiqués dans les coupes transversales des galeries en même maçonnerie de meulière hourdée en mortier n° 1 et rejointoyée en mortier n° 3.

ART. 12. — Des ouvertures latérales seront ménagées dans les voûtes des galeries, aux endroits indiqués sur les plans, pour le passage des tuyaux de prise d'eau et de vapeur; les ouvertures auront 1 m. de largeur sur 0^m,80 de hauteur à l'intérieur de la voûte.

Une surépaisseur de 0^m,10 sera donnée à l'extérieur de la voûte, suivant la forme indiquée sur les plans, pour servir d'appui aux douelles en sapin.

Les bords des ouvertures seront rejointoyés et lissés à la truelle, au mortier de ciment.

ART. 13. — Les douelles qui recouvriront les ouvertures ménagées dans les voûtes des galeries pour le départ des branchements de prises d'eau et de vapeur seront en sapin créosoté. (bastaings de 0^m,17 sur 0^m,65).

Elles seront disposées conformément aux dessins annexés.

ART. 14. — Des ouvertures carrées de 0^m,20 de côté seront ménagées dans la clef de voûte, aux endroits indiqués sur les plans, pour recevoir, au moment de la pose des canalisations de vapeur, les scellements des supports de ces canalisations.

Les parois de ces ouvertures devront présenter une surface rugueuse composée d'une série de petits arrachements destinés à donner de la solidité aux scellements ultérieurs.

Chaque ouverture sera recouverte extérieurement d'une pierre plate rejointoyée avec l'extrados de la voûte, pour empêcher les terres de tomber dans la galerie au moment du remblayage.

ART. 15. — Les planchers métalliques recouvrant les chambres seront constitués par deux poutres longitudinales, espacées de 1^m,20 d'axe en axe, et par des solives transversales, sur lesquelles viendront se poser des entrevoûts en briques.

L'espace resté libre entre les deux poutres aura 4^m,70 de longueur sur 1^m,10 environ de largeur; il est destiné à laisser passer des tuyaux qu'on devra descendre dans les galeries souterraines.

Dans l'un des angles du plancher, il sera ménagé une ouverture de 0^m,85 sur 0^m,95 pour former un regard de descente.

ART. 16. — Les panneaux recouvrant les ouvertures des regards de descente et des bouches d'aération seront en bastaings de 0^m,065 d'épaisseur sur 0^m,47 de largeur et renforcés en dessous par des traverses de mêmes dimensions.

Les panneaux recouvrant les ouvertures des chambres seront en madriers de 0^m,08 sur 0^m,22, renforcés en dessous par des traverses en madrier refendu de 0^m,08 sur 0^m,11.

Chaque panneau sera pourvu de deux poignées constituées chacune par un étrier en fer rond ta-

raudé à ses deux extrémités, dont chacune portera un écrou ; les deux écrous supporteront une petite traverse en fer plat de 0^m,01 d'épaisseur.

ART. 17. — Sur l'une des faces verticales de chacun des regards de descente dans les galeries ou dans les chambres, on fixera, à raison de trois par mètre de hauteur, des échelons ordinaires en fer rond galvanisé de 0^m,03 de diamètre, coudés aux deux extrémités, avec queue de carpe à chaque bout pour scellement ; la longueur des échelons sera de 0^m,40 et leur distance au mur de 0^m,45.

ART. 18. — Des grilles métalliques constituées par des panneaux en fonte de 0^m,60 de côté, posés sur traverses en fer, seront placées en avant de chacune des deux cloisons formant joint hydraulique sur les galeries de raccordement du réseau général avec les égouts de l'avenue de Suffren et de l'avenue de La Bourdonnais.

ART. 19. — A chaque passage de galerie sous une voie ferrée, l'épaisseur de la voûte, des piliers droits et du fond, sera portée à 0^m,50, sur une largeur de 2^m,50.

ART. 20. — Avant de commencer un travail, l'adjudicataire devra s'assurer, sur place, de l'exactitude des cotes et indications des plans et détails, et de la possibilité de les suivre dans l'exécution.

En cas de doute, il devra en donner immédiatement avis à l'Ingénieur ; s'il néglige cette formalité, il restera responsable des erreurs qui pourront se produire et des conséquences de toute nature que ces erreurs entraîneront.

L'adjudicataire prendra possession du terrain sur lequel les travaux doivent être exécutés, dans l'état où il se trouvera le jour où il recevra l'ordre de commencer les travaux, sans pouvoir réclamer d'indemnité ou de délai en raison des difficultés que cet état pourra causer aux travaux soumissionnés.

ART. 21. — Dans l'exécution des travaux de terrassements, de nivellation du sol, tranchées et fouilles, si les fouilles et terres qui en sont extraites sont reconnues infectées ou souillées, et, par suite, capables de compromettre la santé et la salubrité publiques, et d'engendrer des maladies endémiques, épidémiques ou contagieuses, les fouilles et les tranchées, à chaque interruption de travail, seront saupoudrées de sulfate de fer et de chaux vive, à raison de 100 grammes de sulfate de fer pulvérisé et de 200 grammes de chaux vive par mètre carré.

Les terres provenant de ces fouilles seront saupoudrées et mélangées des mêmes substances à raison de 500 grammes de sulfate de fer et de 1 kg. de chaux vive par mètre cube.

Ces terres ne pourront être enlevées qu'aux décharges publiques, hors Paris, et dans des cas spéciaux (terres infectées par des fuites de fosses d'aisances, d'anciens égouts etc.), elles devront être portées aux voiries dans des voitures couvertes qui ne laisseront rien répandre au dehors.

Ces obligations constituent une charge de l'Entreprise pour laquelle il ne sera alloué aucune indemnité à l'adjudicataire.

Règlement des ouvrages.

ART. 22. — Les prix portés au bordereau comprennent des travaux absolument complets et parfaits, exécutés suivant les règles de l'art.

Il est expressément entendu que ces prix ne pourront subir aucun changement, même pour cause d'erreur ou d'omission, et qu'aucune plus-value, d'aucune sorte, ne sera admise pour quelque motif que ce soit.

ART. 23. — Les prix portés pour les fouilles, comme ceux qui ont servi à l'établissement des prix forfaitaires portés, pour les différents ouvrages, au bordereau sont des prix moyens applicables quelle que soit la profondeur de la fouille ou la nature du sol.

Ils comprennent le nivellation, le dressage des faces et des fonds droits ou courbes, tous les jets sur berges ou sur banquettes et montages par tous les procédés, treuil, hotte, seau, etc..., tous les chargements en brouette ou lombereau, le transport à un ou plusieurs relais dans le périmètre du Champ-de-Mars, le déchargement, la mise en cavalier, la reprise de terre pour remblai le régâlage et le pilonnage.

Ils comprennent, en outre, tous les étalements et blindages en temps nécessaire pour éviter les éboulements. L'adjudicataire sera responsable de tous frais et dommages résultant du défaut d'observation de cette clause et, dans aucun cas, il ne pourra arguer du manque d'ordres de service pour dégager, en quoique ce soit sur ce point, sa responsabilité, qui restera pleine et entière.

En conséquence, l'entrepreneur supportera à ses frais l'enlèvement et le transport des terres provenant des éboulis, les excédents de maçonnerie nécessaires pour combler les vides résultant de l'insuffisance des étalements, ainsi que la perte des blindages, étais, couchis ou cintres et cercles en fer qu'il faudra abandonner dans les fouilles.

Les prix comprennent également toutes plus-values de travail dans l'embarras des étais ou étrésillons, en sousœuvre, ainsi que dans l'eau, quelle qu'en soit la hauteur, et toutes difficultés de cas quelconques.

Ils comprennent aussi tous les frais d'épuisement de l'eau dans la hauteur de 0^m,20 et au-dessous, d'assainissement ou de désinfection, etc... dont il est parlé ci-dessus, art. 21, et qui sont à la charge de l'entrepreneur comme faisant partie des prix établis.

Les anciennes maçonneries en béton, meulières etc... rencontrées dans les fouilles, seront démolies par l'adjudicataire ; mais cette démolition ne sera payée à part qu'autant que chacune des parties à démolir aura un cube supérieur à un demi-mètre cube. Au-dessous de ce volume, lesdites démolitions seront considérées comme fouilles ordinaires et comptées comme telles aux prix des fouilles portés au bordereau.

Les matériaux provenant de ces démolitions resteront la propriété de l'entrepreneur, sous la réserve toutefois, qu'ils ne pourront être réemployés dans les travaux qui font l'objet de la présente adjudication.

L'administration se réserve le droit d'imposer à l'adjudicataire, sans aucune plus-value, le triage et la mise à part du sable et des cailloux trouvés dans les fouilles. Ces matériaux seront alors nettoyés et déposés en tas, puis emmètrés aux endroits désignés. Ils pourront être réemployés, soit pour la reconstitution d'un bon sol, soit pour effectuer des remblais au-dessus des voûtes, soit pour être utilisés plus tard par l'Administration.

Ces diverses mains-d'œuvre ne donneront lieu à aucune indemnité.

L'Entrepreneur devra assurer l'écoulement des eaux par tous les moyens nécessaires sur son chantier.

ART. 24. — Les prix de maçonneries diverses qui ont servi à l'établissement des prix forfaits par mètre, portés pour les différents ouvrages au bordereau, comprennent toutes fournitures et main-d'œuvre, transports, bardages, descente ou montage au treuil, au seuil, à la hotte, à la brouette, au tombereau ou wagonnet, toute plus-value de forte ou de faible épaisseur, de grande ou de petite portée, de parties circulaires ou courbes, de piliers isolés, tous travaux accessoires, tels que : échafaudages, engins de toute sorte, cintres en charpente ou autres, gabarits, étalements de toute nature, difficultés d'exécution, d'approche ou d'accès de chantiers, épuisement de l'eau dans la hauteur de 0^m,20 et au-dessous, écoulements d'eaux, mesures préservatrices, plus-value de travail dans l'eau, quelle qu'en soit la hauteur, ou dans l'embarras des étais et étrésillons, en reprise par arrachements, par épaulées et par petites parties, en sousœuvre dans l'embarras des étais ou avec cales en maçonnerie, tous déchets de matériaux, enlèvement des décombres, épures, gabarits, calibres, modèles, frais et faux-frais divers etc...

Par dérogation à l'art. 59 du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et de maçonneries, il ne sera payé aucune plus-value pour frais d'éclairage.

ART. 25. — La longueur développée d'une galerie, pour l'application des prix courants stipulés pour chaque type, sera prise en ligne droite, suivant l'axe longitudinal de cette galerie et hors-d'œuvre des chambres et des murs pignons des regards d'extrémité.

Les chambres, regards de descente, bouches d'aération, murs de tête, cloisons formant joint hydraulique ne sont pas compris dans les développements mentionnés ci-dessus.

Les passages des galeries sous voie ferrée donneront lieu à plus-value sur le prix du mètre courant de galerie, comme il est indiqué au bordereau.

ART. 26. — Dans le cas d'exécution de travaux autres que ceux désignés au bordereau, les prix adoptés seront ceux de la série des travaux d'assainissement de la ville de Paris, édition de 1895, diminués de 6 0/0, et pour les travaux qui n'y sont pas mentionnés, ceux de la série de la ville de Paris, édition de 1882, diminués de 20 0/0.

Tous ces prix subiront le rabais d'adjudication.

ART. 27. — Dans les propositions de paiement à établir conformément aux conditions de l'art. 44 du cahier des clauses et conditions générales, on n'acceptera comme matériaux approvisionnés que ceux déposés sur le chantier même des travaux et complétés provisoirement comme bons par l'Ingénieur principal.

Cette acceptation provisoire ne préjugera en rien leur admission définitive, et l'Administration restera toujours libre de les faire remplacer par d'autres, si elle leur découvre des défauts à l'emploi.

Dispositions diverses.

ART. 28. — L'adjudicataire sera tenu, sans pouvoir réclamer aucune indemnité ni plus-value d'aucune sorte, de subir toutes les sujétions auxquelles l'obligeront, soit la difficulté d'accès des lieux, soit les dispositions qui lui seront ordonnées dans l'intérêt du bon ordre et du service des chantiers.

Il devra notamment se conformer strictement aux ordres relatifs aux parcours à suivre pour l'entrée et la sortie de ses ouvriers, l'entrée et l'approche de ses équipages, des matériaux, des terres destinées aux remblais ainsi que pour la sortie et l'enlèvement de ses gravois.

ART. 29. — Comme complément à l'art. 18 du cahier des clauses et conditions générales, l'adjudicataire installera une baraque avec fenêtre, et fermant à clef, pour les agents de l'Administration. Il installera aussi des cabinets d'aisances pour ses ouvriers.

Il sera autorisé à édifier des bureaux pour son personnel. Toutes ces constructions provisoires seront édifiées à ses frais, aux emplacements désignés par l'Ingénieur principal : il en aura l'entretien.

Le nettoyage, les précautions hygiéniques et la vidange de ces cabinets d'aisances seront également à la charge de l'entreprise. Cette obligation ne prendra fin que le jour où l'Administration aura fait choix d'un entrepreneur général chargé de l'installation et de l'entretien des water-closets.

L'adjudicataire devra établir et enlever à ses frais, tous les échafaudages nécessaires à l'exécution de ses travaux, quel que soit le peu d'importance du travail à exécuter.

Ces échafauds seront exécutés suivant les prescriptions de l'Ingénieur principal qui pourra demander les changements ou modifications qu'il jugera nécessaire, sans que l'adjudicataire soit admis à réclamer aucune sorte d'indemnité.

L'eau nécessaire à l'exécution des travaux faisant l'objet de la présente adjudication sera à la charge de l'adjudicataire, qui devra prendre à ses frais l'installation des conduites et récipients, les polices à contracter et toutes les précautions nécessaires pour que son travail ne soit jamais interrompu par suite du manque d'eau.

Il devra également établir, à ses frais et sur l'ordre de l'Ingénieur principal, toutes les bannes, bâches, etc..., utiles pour garantir ses travaux et pour permettre à ses ouvriers de travailler, même en temps de pluie.

ART. 30. — Par dérogation à l'art. 58 du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et maçonneries, la plus-value prévue (moitié) pour travaux de nuit par équipes spéciales n'ayant pas travaillé de jour et ne devant pas travailler le lendemain, ne sera appliquée qu'à la main-d'œuvre seulement, à l'exclusion des matériaux et du matériel.

La plus-value à allouer aura pour base les prix de l'heure, portés pour chaque nature d'ouvriers à la série des prix de la ville de Paris, année 1882 (prix de règlement, terrasse, art. 19 à 25, maçonnerie, art. 341 à 352 inclus), sans augmentation pour les appareilleurs, maitres-compagnons, chefs d'équipe etc... Ces prix supporteront le rabais d'adjudication.

Ladite plus-value de moitié sera appliquée à l'heure du travail des charretiers employés, mais non à celle des chevaux et du matériel fixe, volant ou roulant, nécessaire.

Les représentants et commis de l'Entrepreneur ne bénéficieront pas de la plus-value.

Chaque fois que le travail de nuit sera requis, l'adjudicataire devra, aussitôt que l'équipe de jour aura quitté le travail, remettre la liste des travailleurs de nuit au délégué de l'ingénieur principal, qui la contrôlera séance tenante et s'assurera de la désignation exacte de chaque homme.

Le même contrôle aura lieu à la fin de la nuit.

Sur la demande de l'adjudicataire, l'Ingénieur principal pourra autoriser, s'il le juge convenable, les équipes de jour à prolonger la durée de la journée réglementaire (durée indiquée par la série de la ville de Paris) ; mais, dans ce cas, il ne sera alloué aucune plus-value.

ART. 31. — L'Administration se réserve le droit de modifier, dans la proportion qu'elle jugera convenable, avant ou pendant le cours des travaux, les dispositions, la nature, la qualité ou la quan-

tité des terrassements et des maçonneries indiquées, sans qu'il y ait lieu à modification des prix de la série, ni à aucune indemnité.

ART. 32. — L'Administration est dans l'intention d'établir, à l'intérieur du Champ-de-Mars, un réseau de voies ferrées raccordé à la gare de la Compagnie de l'Ouest.

Si cette voie est établie en temps convenable, l'adjudicataire pourra s'en servir pour le transport de ses matériaux, mais aucun engagement n'est pris à ce sujet par l'Administration, pas plus que pour telles ou telles dispositions des voies plus commodes que d'autres à l'entrepreneur.

Les frais de transport supplémentaires, auxquels pourra donner lieu l'utilisation de ces voies, seront supportés par l'entrepreneur.

ART. 33. — Au fur et à mesure que certaines parties des constructions seront terminées, l'Administration aura le droit de les mettre en état de réception provisoire et d'en prendre livraison; mais le délai de réception définitive ne partira que de l'époque de l'achèvement complet des travaux.

Avant même que les remblais soient effectués, les galeries pourront être reçues.

D'ailleurs, pour une partie quelconque des travaux, le remblayage ne sera fait qu'après une autorisation de l'Ingénieur principal.

ART. 34. — L'Entrepreneur sera responsable des travaux qu'il aura exécutés, dans les conditions fixées par les art. 1792 à 1797 du Code civil.

ART. 35. — Avant de commencer sa maçonnerie, il devra s'assurer que le sol est en état de la supporter. En cas de doute, il devra aviser l'Ingénieur principal qui prendra toutes mesures convenables. Faute d'avoir averti en temps utile l'Administration, il restera entièrement responsable de toutes les conséquences résultant du mauvais état du sol.

Pendant l'exécution des travaux, l'adjudicataire prendra, à ses frais, toutes les précautions nécessaires pour préserver de tous dommages ses travaux, ainsi que ceux qui existeraient ou seraient en cours d'exécution.

Il sera responsable des avaries qu'il causerait à ces constructions et ouvrages.

Il devra également installer à ses frais les garde-corps, les entourages et l'éclairage qui seront nécessaires pour éviter les accidents du personnel des chantiers, ainsi que des personnes étrangères.

ART. 36. — Indépendamment des conditions énoncées ici, l'adjudicataire sera soumis, en tout ce à quoi il n'est pas dérogé par le présent devis et cahier des charges particulier, aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs par l'arrêté de M. le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes, en date du 25 septembre 1896, ainsi qu'aux clauses et conditions du cahier des charges spéciales aux travaux de terrassements et de maçonneries en date du 5 février 1897, adopté pour les travaux d'architecture de l'Exposition, et aux conditions de l'affiche d'adjudication.

Dressé par l'Ingénieur principal
des Installations mécaniques.

Paris, le 12 avril 1898.

C. BOURDON

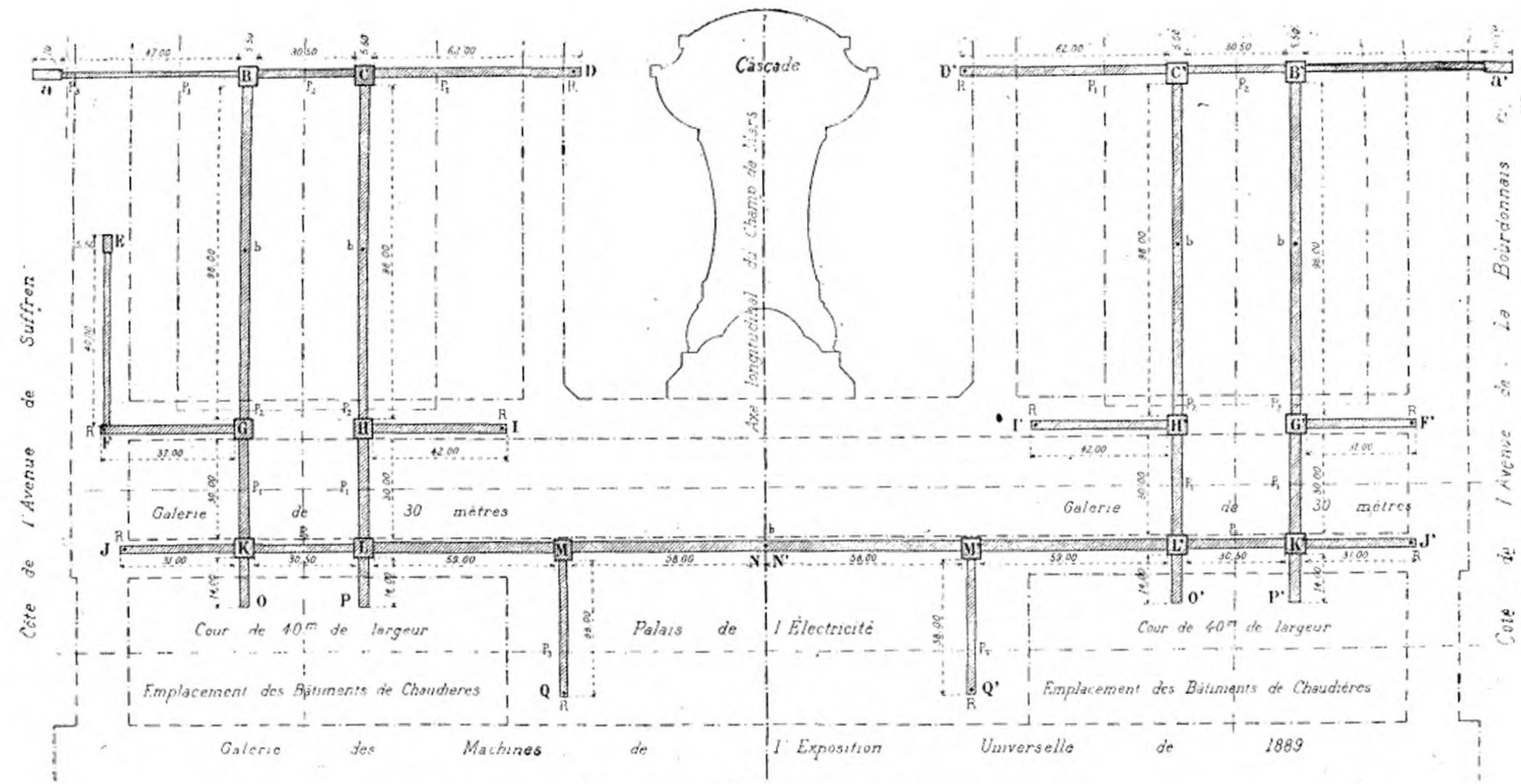


Fig. 95. — Schéma pour l'avant-métré.

Avant-Mètre.

GALERIES TYPE N° 1			GALERIES TYPE N° 2			GALERIES TYPE N° 3			GALERIES TYPE N° 3 bis		
Désignation	longueurs partielles	longueurs totales	Désignation	longueurs partielles	longueurs totales	Désignation	longueurs partielles	longueurs totales	Désignation	longueurs partielles	longueurs totales
CD-C'D'	2×62,00	124,00	BC-B'C'-K'L'-KL	4×30,50	122,00				FE	1×40,00	40,00
CK-G'K'-H'L'-HL	4×30,00	120,00	BG-B'G'-C'H'-CH	4×98,00	392,00	a B	1×47,00	47,00	QM-Q'M'	2×38,00	76,00
KO-K'O'-L'P'-LP	4×14,00	56,00	HI-H'I'	2×42,00	84,00	a'B'	1×44,00	44,00			
LM-L'M'	2×59,00	118,00	FG	1×37,00	37,00						
MN-M'N'	2×58,00	116,00	F'G'-J'K'-JK	3×31,00	93,00						
Total Type N° 1. . .	534,00		Total Type N° 2. . .	728,00		Total Type N° 3	91,00		Total Type N° 3bis	116,00	

Nos d'ordre	DÉSIGNATION DES TRAVAUX	QUANTITÉS
1	Galeries voûtées, type N° 1 CD, C'D', GK, G'K' HL, H'L' KO, K'O', LP, L'P', LM, L'M', MN, M'N'.	534 ^m ,00
2	Passages de galeries, type N° 1, sous voie ferrée $p_1 p_1 p_1 p_1 p_1 p_1$.	6 »
3	Galeries voûtées, type N° 2, BC, B'C, KL, K'L' BG, B'G, CK, C'K', HI, H'I', FG, F'G', JK, J'K'.	728 »
4	Passages de galeries, type N° 2, sous voie ferrée $p_2 p_2 p_2$.	10 »
5	Galeries voûtées, type N° 3, aB, a'B'.	91 »
6	Galeries voûtées, type N° 3 bis FE, QM, Q'M'.	116 »
7	Passages de galeries, types N° 3 et 3 bis, sous voie ferrée $p_3 p_3 p_3 p_3 p_3$.	5 »
8	Chambres de 4,50 × 4,50, B, C, G, H, K, L, M, B', C', G', H', K', L', M'.	14 »
9	Chambres de 4,50 × 2,00 E.	1 »
10	Appareils spéciaux d, d'.	2 »
11	Regards de descente R, R, R, R, R, R, R, R, R.	10 »
12	Bouches d'aération b, b, b, b.	5 »

Bordereau des Prix.

Nos d'ordre	NATURE DES TRAVAUX ET DÉTAIL DES OUVRAGES	PRIX d'application	UNITÉ de mesure
1	Galerie de 2 ^m ,60 d'ouverture, type n° 1, compris tous les terrassements, les maçonneries et les accessoires indiqués au devis et cahier des charges particulier et sur les dessins, tels que : murettes supportant les tuyaux, ouvertures latérales pour le passage des tuyaux de prise d'eau et de vapeur, fermées, provisoirement, par des douilles en sapin, ouvertures pratiquées dans la clef de voûte pour scellements ultérieurs et recouvertes par une pierre plate, pattes à scellement, etc., le mètre courant : <i>Deux cent vingt-quatre francs, ci.....</i>		fr.
2	Galerie de 2 ^m ,40 d'ouverture, type n° 2, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant : <i>Deux cent sept francs, ci</i>	224 »	le mètre courant.
3	Galerie de 2 ^m ,00 d'ouverture, type n° 3, dans les mêmes conditions que ci-dessus, le mètre courant : <i>Cent soixante-six francs, ci.....</i>	207 »	id.
4	Galerie de 2 ^m ,00 d'ouverture, type n° 3 bis, sans murettes ni ouvertures, le mètre courant : <i>Cent soixante francs, ci.</i>	166 »	id.
5	Fouilles supplémentaires en dessous de celles prévues aux dessins, dans les conditions du devis et cahier des charges, le mètre cube : <i>Cinq francs, ci.....</i>	160 »	id.
6	Formes en sable de rivière, passé au tamis n° 7 et posé par couches de 0 ^m ,10 d'épaisseur, mouillées et fortement pilonnées	5 »	le mètre cube.
	avec du sable retiré des fouilles, le mètre cube: <i>Deux francs soixante centimes, ci.</i>	2,60	id.
	exécutées avec des matériaux fournis par l'entrepreneur, le m. cube : <i>Neuf francs soixante centimes, ci.....</i>	9,60	id.
7	Plus-value sur le prix n° 1 ci-dessus pour chaque passage de galerie, type n° 1, sous voie ferrée (surépaisseur de 0m,50 — 0m,33 = 0,17 sur 2 ^m ,50 de longueur), le mètre courant : <i>Cent soixante-sept francs, ci.....</i>	167 »	le mètre courant.
8	Plus-value sur le prix n° 2 ci-dessus pour chaque passage de galerie, type n° 2, sous voie ferrée (surépaisseur de 0m,20 sur 2 ^m ,50 de longueur), le mètre courant : <i>Cent quatre-vingt-dix francs, ci.....</i>	190 »	id.
9	Plus-value sur le prix n° 3 ci-dessus pour chaque passage de galerie, type n° 3, sous voie ferrée (surépaisseur de 0m,30 sur 2 ^m ,50 de longueur), le mètre courant : <i>Deux cent quatorze francs, ci.....</i>	214 »	id.
10	Chambre de 4 ^m ,50 × 4 ^m ,50 (dimensions intérieures), compris tous terrassements, maçonneries et travaux accessoires énoncés au devis ou indiqués aux dessins, la pièce : <i>Trois mille trois cent quarante-sept francs, ci.....</i>	3.347 »	la pièce.
11	Chambres de 4 ^m ,50 × 2 ^m ,00, mêmes conditions que ci-dessus, la pièce : <i>Deux mille deux cent vingt-trois francs, ci.....</i>	2.223 »	id.
12	Appareils spéciaux formant joints hydrauliques sur les égouts de raccordement du réseau des galeries souterraines avec les égouts de l'avenue de Suffren et de l'avenue de La Bourdonnais, compris tous accessoires énoncés aux devis ou indiqués aux dessins, la pièce : <i>Deux mille trois cent vingt-cinq francs, ci.....</i>	2.325 »	id.
13	Regards de descente, dans les conditions du devis, la pièce : <i>Deux cent cinquante-six francs, ci.....</i>	256 »	id.
14	Bouches d'aération, compris panneaux de fermeture dans les conditions du devis, la pièce : <i>Soixante-quinze francs, ci.....</i>	75 »	id.
15	Démolition de maçonneries pour parties de plus de 1/2 mètre cube, en béton, moellons, meulières, briques ou pierres trouvées dans les fouilles, compris montage des matériaux et gravois avec transport aux points désignés dans le Champ-de-Mars, le mètre cube : <i>Deux francs vingt-cinq centimes, ci.....</i>	2,25	le mètre cube.

Détail estimatif.

Nos d'ordre	NATURE DES TRAVAUX	PRIX de l'unité	Quantités	SOMMES
		frances		frances
1	Galeries voûtées, type no 1.....	224 »	534 ^m »	119.616 »
2	Passage de galerie, type no 1, sous voie ferrée...	167 »	6 »	1.002 »
3	Galeries voûtées, type no 2.....	207 »	728 ^m »	150.696 »
4	Passage de galerie, type no 2, sous voie ferrée...	190 »	10 »	1.900 »
5	Galeries voûtées, type no 3.....	166 »	91 ^m »	15.106 »
6	Galeries voûtées, type no 3 bis.....	160 »	116 ^m »	18.560 »
7	Passage de galerie, types 3 et 3 bis, sous voie ferrée.	214 »	5 »	1.070 »
8	Chambres de 4m,50 × 4m,50.....	3.347 »	14 »	46.858 »
9	Chambres de 4m,50 × 2m,00.....	2.223 »	1 »	2.223 »
10	Appareils spéciaux.....	2.325 »	2 »	4.650 »
11	Regards de descente.....	256 »	10 »	2.560 »
12	Bouches d'aération.....	75 »	5 »	375 »
	Total.			364.616 »
	<i>Travaux eventuels.</i>			
13	Fouilles supplémentaires, au-dessous de celles prévues sur les plans, tout compris, ainsi que cela est défini dans le bordereau des prix.	5 »	450 ^m »	2.250 »
14	Formes en sable de rivière lavé, passé au tamis no 7 et posé par couches de 0m,100 d'épaisseur, mouillées et fortement pilonnées : Avec sable retiré des fouilles..... Avec matériaux fournis par l'entrepreneur.	2 60 9 60	225 ^m » 225 ^m »	585 » 2.160 » 4.995 » 369.611 » 36.961 » 406.572 »
	Sommes à valoir pour imprévus 10 0/0.			
	Montant total des travaux et imprévus.			

L'adjudication eut lieu le 27 juin 1898. M. Versillé, entrepreneur à Paris, ayant fait le rabais le plus élevé, fut déclaré adjudicataire. Les travaux commencèrent le 27 septembre. Ils ont été à peu près terminés en février 1899, soit au bout de cinq mois, au lieu de six mois prévus au cahier des charges.

Pose des canalisations souterraines. — Dès que les galeries furent terminées, les entrepreneurs du service hydraulique installèrent les conduites d'eau froide et d'eau chaude ; puis, MM. Supervielle et Pellier, entrepreneurs du service des installations mécaniques, chargés de la pose des canalisations de vapeur, commencèrent leur travail.

Nous n'entrerons pas dans le détail de ces travaux qui furent d'ailleurs menés rapidement et terminés sans inconvenient, grâce aux dispositions prises dès le début pour l'organisation des équipes.

Les dessins de la Pl. 28 montrent les différentes positions occupées

dans les galeries souterraines par les conduites de vapeur, suivant le type de section envisagé, et les croquis ci-dessous donnent, en plan, la coupe horizontale d'une galerie avec la disposition des murettes, des tubulures de prise d'eau et des ouvertures latérales, ainsi que deux types de croisements de galeries.

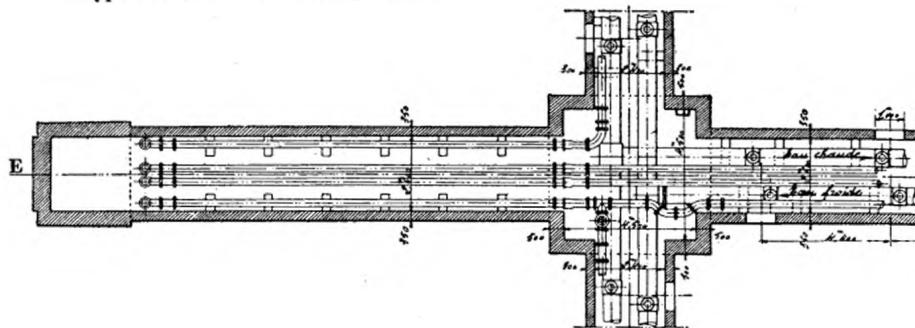


Fig. 96.

Les murettes avaient nécessairement des formes et des dimensions variables, selon qu'elles supportaient uniquement des tuyaux de vapeur, ou uniquement des conduites d'eau, ou à la fois des tuyaux de vapeur et des conduites d'eau.

Il nous reste à examiner la façon dont les exposants pouvaient raccorder les tuyauteries de leurs machines avec les canalisations souterraines.

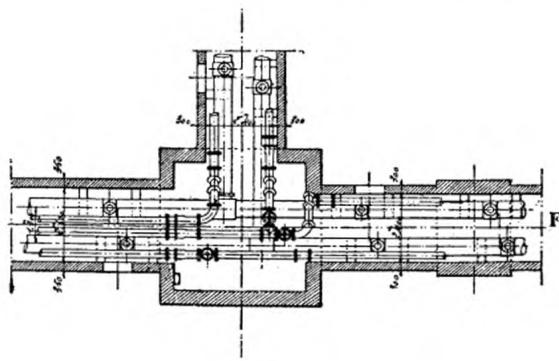


Fig. 97.

Nous choisirons comme type le raccordement d'un groupe électrogène au service de la force motrice.

Des ouvertures de 1 m. sur 0^m,80 avaient été ménagées, comme nous

l'avons vu, dans les parois latérales des galeries, au-dessus de la nais-

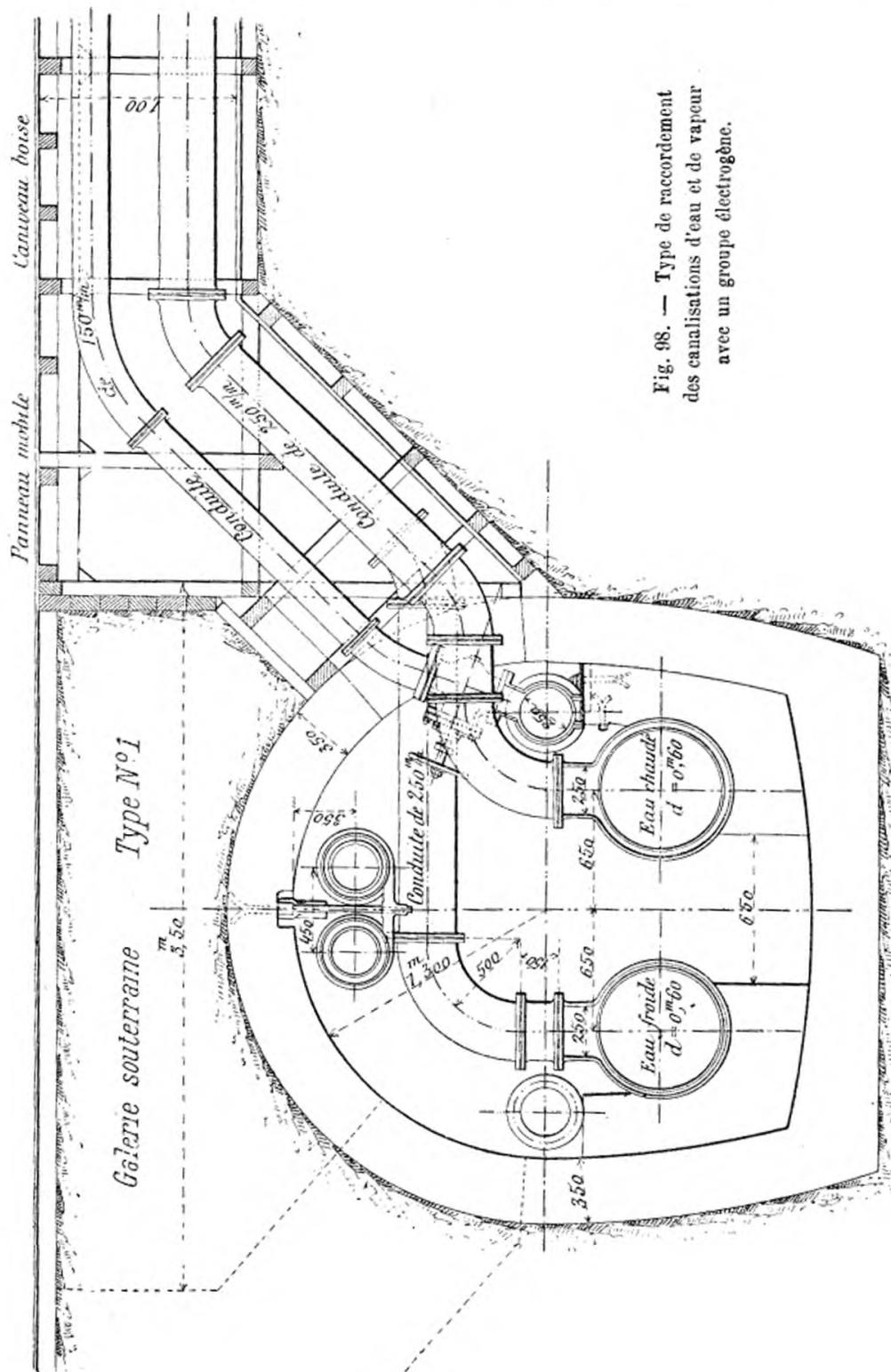


Fig. 98. — Type de raccordement
des canalisations d'eau et de vapeur
avec un groupe électrogène.

sance des voûtes, pour le passage des branchements de prise de vapeur et d'eau. Ces ouvertures étaient espacées, en général, de 4^m,40 d'axe en axe, mais alternativement, du côté droit et du côté gauche de chaque galerie, de sorte que, d'un même côté, deux ouvertures consécutives se trouvaient distantes de 8^m,80.

Les dimensions des ouvertures latérales ont été établies en vue de permettre le passage des trois tuyaux d'eau froide, de vapeur et de retour des eaux de condensation, correspondant à une même machine.

Ces ouvertures ne furent pas toutes utilisées ; mais au moment de l'étude de la construction des galeries souterraines, la plupart des constructeurs de groupes électrogènes n'avaient pas fait connaître leurs intentions bien arrêtées au sujet de leur participation à l'Exposition. On ne pouvait donc s'arrêter qu'à une solution de principe et établir des ouvertures à des distances correspondant à celles de deux tubulures consécutives, sauf en cas d'impossibilité absolue déterminée par la rencontre d'obstacles extérieurs, voies ferrées, piliers de fermes, etc...

Au droit de chacune de ces ouvertures, une surépaisseur de maçonnerie, de 0^m,10 à la voûte, servait d'appui à des douelles en sapin créosoté de 0^m,17 sur 0^m,063, au moyen desquelles les ouvertures étaient bouchées provisoirement pour éviter les éboulements de terre à l'intérieur des galeries lorsqu'on procédait au remblayage des reins de la voûte.

Canalisation de purge. — Pour recevoir toutes les eaux provenant des purgeurs automatiques de la canalisation générale et des purgeurs des machines motrices, une conduite de retour des eaux de purge avait été installée dans les galeries souterraines, pour chaque usine.

Les tuyaux, en fer soudé à rapprochement, qui constituaient cette conduite portaient, de distance en distance, des tés en fonte pour le raccordement à la tuyauterie particulière des machines ; aux points de rencontre de deux ou plusieurs galeries de directions différentes, une pièce en fonte servait de nourrice collectrice et déversait les eaux provenant de ces directions dans un tuyau de diamètre plus grand.

Les conduites de purge étaient suspendues à la voûte des galeries ; elles aboutissaient dans chaque usine à des vases d'expansion installés à la partie inférieure des coffres d'aérage.

Chaque vase d'expansion, sorte de réservoir-collecteur de 1^m,200 de diamètre et 2^m,50 de hauteur, portait un bec de trop plein communiquant avec l'atmosphère.

quant, par une boîte étanche, avec un tuyau plongeur de 250 mm. de

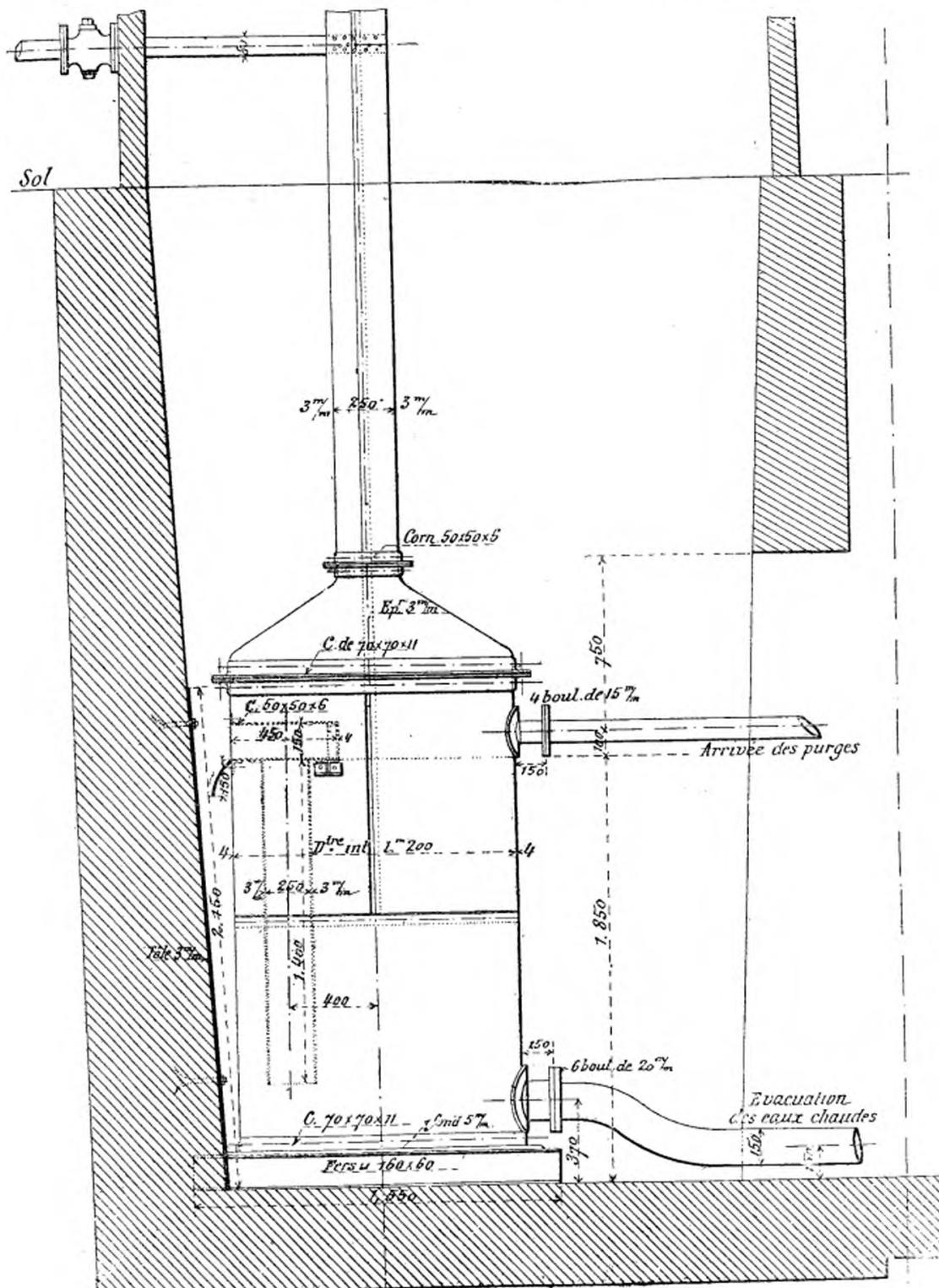


Fig. 99. — Vase d'expansion des purges.

diamètre. Les eaux de purge, apportées par le tuyau de 100 mm., débouchaient dans le vase d'expansion à 1^m,85 au-dessus du radier et s'écoulaient, à la base, par un tuyau de 150 mm.

En cas d'arrivée d'eau importante, le niveau pouvait s'élever dans le réservoir et le trop plein s'écoulait par le bec en tôle formant déversoir.

Le vase d'expansion est surmonté d'un tuyau en tôle de 250 mm. de diamètre, qui montait dans le coffre d'aérage jusqu'à 6 m. environ de hauteur, et dans lequel pénétrait une petite conduite d'eau froide, terminée en pomme d'arrosoir, pour condenser le plus possible les buées provenant de l'évaporation des eaux chaudes.

Alimentation d'eau pour les chaudières des usines Suffren et La Bourdonnais. — Pour terminer le chapitre relatif aux installations qui ont été faites en vue d'assurer le fonctionnement des générateurs au service de l'Exposition, nous devons ajouter quelques mots concernant la partie hydraulique.

L'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières était répartie entre les deux usines au moyen d'une canalisation particulière, enfouie dans le sol, dont on voit le tracé sur l'installation d'ensemble *Pl. 27*.

Cette canalisation pouvait recevoir à volonté, par la manœuvre de quelques vannes, de l'eau de source provenant du réseau de conduites de la Ville de Paris ou de l'eau de Seine fournie par l'usine élévatrice installée au port de la Cunette par les soins de l'administration.

De cette façon, en cas d'accident aux pompes de l'Exposition, l'alimentation était assurée par le service de la Ville et réciproquement.

L'eau de Seine destinée aux chaudières était donc comprise dans la fourniture totale de l'usine élévatrice, créée dans le but principal d'alimenter le Château d'Eau et les canalisations souterraines sur lesquelles se branchaient les condenseurs des machines à vapeur en fonctionnement dans les groupes IV et V.

L'usine élévatrice du port de la Cunette fut édifiée, après un concours entre différents constructeurs français, par la Société française des pompes Worthington. Elle comprenait quatre machines capables de fournir chacune 500 lit. par seconde, munies de condenseurs à surface dans lesquels circulait l'eau aspirée et refoulée par les pompes, sans contact direct avec la vapeur, de façon que cette eau ne puisse subir un échauffement de plus d'un demi-degré.

Les réservoirs d'air au refoulement des pompes avaient une capacité

suffisante pour que la pression ne varie pas de plus d'un mètre au-dessus ou au-dessous de la pression moyenne. Cette capacité d'air ne devait pas être inférieure à trois fois et demi le volume engendré par une course simple du piston à eau, pour chacune des quatre pompes, et toutes les précautions étaient prises par la Société Worthington pour obtenir une mise en marche et un arrêt lents et progressifs, de façon à ne pas fatiguer les conduites de refoulement.

L'Administration de l'Exposition avait établi, pour l'aspiration, deux enclaves de prise d'eau de Seine ; les crépines défendues par ces enclaves et les tuyaux à la suite furent installés par le fournisseur.

Le niveau de l'eau de la Seine est à la cote 27 m, quand la retenue opérée au barrage de Suresnes est complète ; mais les machines étaient prévues et placées pour le cas où ce niveau descendrait à la cote 26 m, par suite de l'abaissement accidentel de la retenue de Suresnes.

Le sol des machines était à la cote 30 m et l'eau de Seine était refoulée dans le bassin de la grande cascade du Château d'Eau, dont le déversoir cotait 47^m,50.

Les deux conduites de refoulement des pompes avaient un diamètre de 800 mm et un développement de plus de 1 000 m. Chacune d'elles, en service normal, livrait passage à un volume de 450 à 500 lit. d'eau par seconde ; exceptionnellement, en cas d'accident à l'une des conduites, le débit de l'autre pouvait atteindre 750 lit. par seconde.

Les quatre machines élévatrices ont été construites, sur les plans de la société Worthington, dans les ateliers de MM. Crépelle et Garand, à Lille.

La vapeur nécessaire au fonctionnement de ces machines était fournie par deux batteries de chaudières de la Société française Babcock et Wilcox.

Nous avons parlé, dans l'examen des générateurs en fonctionnement, de ces batteries qui comportaient chacune deux chaudières de 113 m² de surface de chauffe, vaporisant 2 000 kg. d'eau à l'heure par unité. Elles étaient munies de grilles mécaniques fumivores et de surchauffeurs et toutes les pièces qui les constituaient sortaient des ateliers de la Société Babcock et Wilcox, à la Courneuve.

La distribution de l'eau de Seine provenant du bassin de la grande cascade du Château d'Eau était faite, pour l'eau de condensation destinée aux machines à vapeur, par des conduites placées dans les galeries souterraines de la distribution de vapeur, et pour l'eau d'alimentation des

chaudières par des tuyaux enfouis dans le sol et bifurqués vers les usines Suffren et La Bourdonnais.

Les prises d'eau sur les conduites des galeries souterraines étaient obtenues, ainsi que le montre le type de raccordement fig. 98, au moyen de tuyaux de 250 mm ; le retour des eaux chaudes dans la conduite correspondante se faisait par un raccordement de même diamètre.

DEUXIÈME PARTIE

GÉNÉRATEURS EXPOSÉS A L'ÉTAT INERTE

CHAPITRE V

EXAMEN DES GÉNÉRATEURS INERTES

Chaudières système Belleville.

MM. Delaunay-Belleville et C^{ie}, constructeurs à Saint-Denis, ont exposé dans plusieurs classes un certain nombre de générateurs de vapeur de différents modèles, suivant le genre d'industrie auquel ils étaient destinés, et plusieurs chaudières du type marine.

En raison des hautes fonctions occupées par M. Delaunay-Belleville à l'Exposition de 1900, cette maison s'était abstenu de présenter des générateurs en marche dans les usines Suffren et la Bourdonnais. Les appareils exposés dans les Palais formaient d'ailleurs un ensemble extrêmement important, bien capable de faire apprécier le rang occupé par la Société Delaunay-Belleville et C^{ie} parmi les constructeurs de chaudières et de laisser en bonne place le nom de son fondateur, M. Belleville, si intimement lié à l'histoire des générateurs multitungstiques et de leurs perfectionnements.

Il serait superflu de donner ici une description du système Belleville ; il est universellement connu, non seulement en France, mais sur tout le continent, et c'est par milliers que se comptent aujourd'hui les chaudières de ce type qui sont employées dans l'industrie et dans les marines militaires et marchandes de tous les pays. Nous rappellerons seulement que le premier brevet de M. Belleville pour un appareil génératrice, dit « à vaporisation instantanée », date de 1850 et que les efforts patients, les longues années de recherches et d'applications de

L'inventeur, furent couronnés d'un succès complet que l'Exposition de 1889 consacra d'une manière définitive et glorieuse pour l'industrie française.

Depuis cette époque, la Société, sous l'heureuse impulsion de M. Delaunay-Belleville, n'a pas cessé de continuer les études relatives aux générateurs multitubulaires et de perfectionner sans relâche ses modèles successifs par des modifications propres à étendre leurs applications, à augmenter leur sécurité et à utiliser dans les meilleures conditions économiques possibles tous les genres de combustible qui leur étaient destinés.

C'est ainsi que le modèle 1894 a été complété et remanié de la façon suivante :

L'épurateur d'eau et de vapeur peut être visité et nettoyé beaucoup plus facilement. Il réalise à un degré plus complet que les précédents, le brassage énergique de l'eau avec la vapeur en vue d'obtenir une précipitation complète des dépôts calcaires.

Le fond du collecteur épurateur, qui correspond au tube de retour d'eau, est en acier moulé ; il comporte un large déversoir qui permet l'écoulement rapide de l'eau amenée dans l'épurateur par l'alimentation et par la vapeur sortant des éléments.

Ce nouveau retour d'eau maintient un niveau plus bas dans le collecteur épurateur, ce qui facilite l'essoration de la vapeur ; la quantité d'eau en circulation dans les éléments peut être ainsi augmentée, et il en résulte une meilleure utilisation de la chaleur transmise aux tubes générateurs de vapeur.

Les générateurs des séries A et B, qui ont plus de sept éléments, et les générateurs de la série C, qui ont plus de six éléments, sont munis de deux retours d'eau ; ils comportent par suite, dans ce cas, deux déjecteurs ainsi que deux arrivées d'eau au collecteur d'alimentation, une à chaque bout du collecteur.

Désireux de résoudre aussi complètement que possible l'importante question de la sécurité, MM. Delaunay-Belleville et C^{ie} ont étudié et réalisé les dispositions suivantes, qui sont appliquées à tous les générateurs du type fixe, en vue de mettre le chauffeur à l'abri d'un échappement de vapeur, si une fuite vient à se produire dans le faisceau de tubes.

a). La couverture du générateur est munie d'un ou de deux couvercles mobiles dits « trappes d'expansion », permettant à la vapeur de s'échapper par la partie supérieure de l'appareil.

b). La fermeture des portes de nettoyage est assurée solidement, non seulement par une crémone robuste, mais encore par une barre de sûreté engagée entre deux mentonnets.

c). Les portes de cendriers sont disposées de façon à se fermer d'elles-mêmes, sous l'action de toute poussée venant de l'intérieur.

d). Les portes de foyer sont à bascule et se ferment de dedans en dehors.

e). Enfin les orifices de nettoyage des tubes sont fermés par des bouchons autoclaves en acier matricé qui constituent la plus solide de toutes les fermetures. Le démontage et le remontage de ces bouchons s'effectuent avec facilité.

Générateurs Belleville type 1896, munis d'économiseurs.

Ces générateurs, comme ceux des types antérieurs, ne nécessitent aucun espace libre, autour ni en arrière de l'appareil. Le montage, la conduite, l'entretien, et notamment les nettoyages intérieurs et extérieurs se font exclusivement par la façade (fig. 100 et Pl. 29).

L'économiseur présente les mêmes facilités d'entretien et de nettoyage que le générateur. Il est desservi par une passerelle en fer fixé sur la tôlerie du générateur, ses éléments étant placés au-dessus des éléments vaporisateurs.

Sécurité. — Elle résulte principalement du faible diamètre des parties constitutantes du générateur, de l'absence de toute capacité volumineuse exposée au feu et supportant la pression de la vapeur, et, par suite, du petit nombre de calories pouvant, le cas échéant, se transformer en éléments destructeurs. Ce générateur est muni de dispositions spéciales qui ont pour résultat de résoudre aussi complètement que possible cette importante question de la sécurité, dispositions que nous avons indiquées dans l'exposé des perfectionnements du modèle 1894.

Complète liberté de dilatation des tubes. — Ce résultat est obtenu par la division du générateur en éléments ou fractions bien distinctes les unes des autres. Chaque élément affecte la forme d'un serpentin aplati, dont l'ensemble constitue une sorte de ressort, forme éminemment élastique et propre au libre jeu des allongements et des contractions qui se produisent incessamment en cours de service.

La fonte ordinaire est absolument proscrite de toutes les pièces essentielles des générateurs et de leurs enveloppes ; le fer, l'acier coulé,

L'acier doux et le fer fondu malléable, sont les seuls métaux employés pour ces organes.

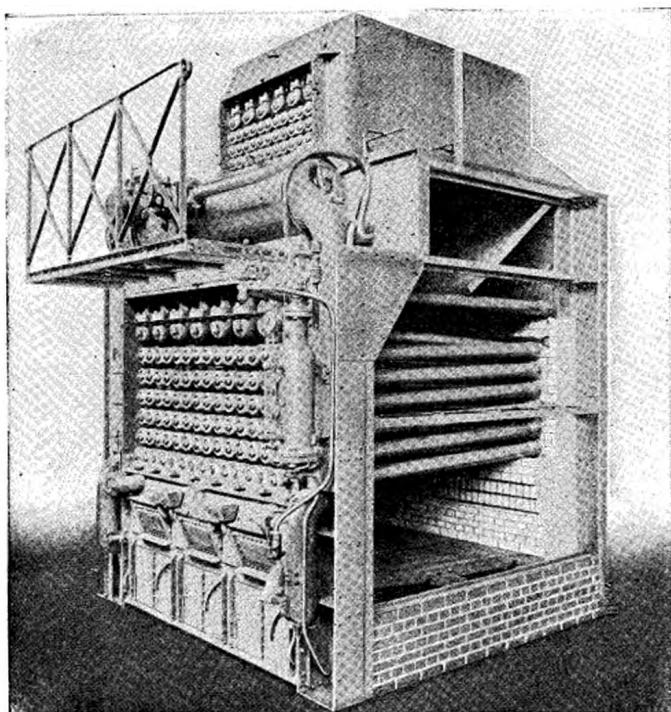


Fig. 100.

Nettoyage des parties intérieures et extérieures. — Chaque groupe d'éléments composant un générateur est logé dans une enveloppe formée de tôles, de cornières et de briques. Cette enveloppe, sorte de boîte à parois rectangulaires qui n'a besoin d'être accessible que par sa façade, est munie des portes de la boîte à tubes, du foyer et du cendrier.

L'ouverture des portes de la boîte à tubes permet l'accès facile et direct de l'intérieur et de l'extérieur de tous les tubes.

La longueur relativement faible des tubes rend aisément leur nettoyage intérieur par un orifice clos en marche au moyen d'un bouchon autoclave en acier matricé.

Les divers tubes d'un même élément sont reliés entre eux par des boîtes de raccord isolées indépendantes et laissant entre elles, dans tous les sens, des intervalles largement suffisants pour le passage et la ma-

nœuvre des brosses et autres outils de nettoyage. L'accès et le nettoyage de l'extérieur des surfaces de chauffe sont ainsi rendus très faciles et très efficaces.

Solidité des joints. — Le seul mode de jonction employé dans les générateurs Belleville, pour la liaison des tubes avec leurs boîtes de raccordement, est le joint à vis, assujetti par des manchons et contre-bagues. Une longue expérience a démontré la parfaite solidité des joints établis dans ces conditions et les a fait préférer à tous les autres.

Précipitation des sels calcaires. — La précipitation à l'état de boues des sels calcaires contenus dans l'eau d'alimentation est due à l'efficacité du collecteur-épurateur, dans lequel l'eau, brusquement portée à une température élevée, abandonne ses sels calcaires avant son entrée dans les tubes vaporiseurs. Les dépôts retenus dans le déjecteur sont extraits au moyen de purges effectuées pendant la marche.

Circulation forcée. — La circulation forcée est indispensable pour obtenir une bonne utilisation des surfaces de chauffe et une parfaite conservation des tubes avec combustion active et production abondante de vapeur.

Cette circulation forcée, condition essentielle de bon fonctionnement d'un générateur à tubes d'eau, est obtenue au moyen des dispositions suivantes :

1^o Éléments vaporiseurs formant un canal unique et continu.

2^o Réservoir collecteur-épurateur réunissant le mélange d'eau et de vapeur qui provient des éléments et recevant en même temps l'eau d'alimentation.

3^o Tuyau extérieur reliant l'épurateur à la base des éléments avec interposition de récipient formant déjecteur des dépôts calcaires.

Dans ces conditions, la circulation forcée de la base au sommet des éléments vaporiseurs, résulte de la grande différence de densité moyenne entre l'eau qui fait incessamment retour par le tuyau extérieur, et le contenu des éléments, où l'eau se charge d'une proportion croissante de vapeur à mesure qu'elle s'élève vers les parties hautes.

Alimentation automatique. — 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, haut et 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.

Mise en pression rapide. — La mise en pression d'un générateur Belleville se fait très rapidement, en général un quart d'heure après l'allumage. Cette faculté peut offrir un avantage marqué dans certaines circonstances et notamment dans le cas où, par suite d'une exigence imprévue du service, il est nécessaire de mettre d'urgence en route un générateur de rechange.

Régulation automatique de la combustion. — La régulation automatique de la combustion dans le foyer et de la pression dans le générateur est obtenue à l'aide du régulateur spécial de tirage et de pression.

Celui-ci est composé d'une cuvette renfermant un ressort Belleville à capacité étanche. L'intérieur de la cuvette, et par suite l'extérieur du ressort, sont en communication constante avec la pression du générateur. L'intérieur du ressort reste en communication avec l'atmosphère.

En se comprimant à mesure que la pression tend à s'élever au delà de la limite voulue dans le générateur, le ressort agit au moyen d'une tige et d'un levier disposés *ad hoc*, sur un registre qui se ferme proportionnellement, et le tirage diminue ; l'inverse a lieu lorsque la pression diminue dans le générateur : la détente du ressort fait ouvrir le registre et le tirage augmente.

Le travail de ce régulateur est toujours certain parce qu'il n'existe aucun frottement qui puisse atténuer ou diminuer son action. C'est donc avec une grande précision qu'il active ou modère la combustion dans le foyer et règle ainsi la consommation du combustible en raison des besoins du travail et qu'il limite, en fermant le registre, le maximum de pression qui ne doit pas être dépassé en travail normal.

Économiseur-réchauffeur d'eau d'alimentation. — Cet appareil réalise un progrès considérable. Il est formé d'éléments tubulaires analogues à ceux des générateurs. L'intérieur et l'extérieur des tubes sont, comme ceux-ci, facilement accessibles de la façade. Les nettoyages, de même que les visites et les réparations, s'effectuent donc avec la même commodité que pour les générateurs.

Les éléments économiseurs sont raccordés à deux collecteurs : le collecteur inférieur, dans lequel arrive l'eau d'alimentation, et le collecteur supérieur, duquel part le tuyau qui amène l'eau d'alimentation à l'épurateur du générateur.

Entre les deux faisceaux tubulaires, l'un vaporisateur et l'autre éco-

nomiseur, se trouve une chambre de mélange et de combustion, dans laquelle les parties comburantes et les parties combustibles des gaz qui ont passé dans le faisceau vaporisateur, peuvent se combiner avant de pénétrer dans le faisceau tubulaire économiseur.

On bénéficie ainsi d'une meilleure combustion des gaz, on empêche les réinflammations qui se produisent dans les cheminées quand les feux sont trop chargés ou mal conduits et on utilise aussi complètement que possible la chaleur développée par le combustible.

Un certain nombre d'applications d'économiseurs ont été réalisées dans l'industrie et donnent les meilleurs résultats.

A la suite d'essais effectués dans les ateliers de Saint-Denis, la marine anglaise a décidé de munir d'économiseurs les générateurs Belleville qui sont ou seront montés sur 18 cuirassés d'ensemble 279 000 chevaux, sur 29 croiseurs d'ensemble 542 000 chevaux, sur 6 sloops d'ensemble 8 400 chevaux et sur le yacht royal « Victoria and Albert » de 11 000 chevaux.

La marine française, après avoir fait constater dans les ateliers de Saint-Denis les résultats donnés par ces économiseurs, a traité avec MM. Delaunay-Belleville et Cie pour appliquer ces appareils aux générateurs Belleville destinés à 7 cuirassés d'ensemble 91 600 chevaux et à 7 croiseurs d'ensemble 120 300 chevaux.

Essais de vaporisation effectués sur un générateur Belleville TYPE B.9, muni d'un économiseur, par M. COMPÈRE, Ingénieur-Directeur de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur.

Description du générateur (voir Pl. 29). — Nous ne reviendrons pas sur la description du générateur modèle 1896 dont nous venons de parler. Les dessins de la planche complèteront le texte précédent.

Les conditions d'établissement de la chaudière essayée sont les suivantes :

DIMENSIONS DE LA CHAUDIÈRE et de l'Économiseur	CHAUDIÈRES	ÉCONOMISEUR
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	dans les éléments vaporisateurs :	
	17 dm ² par m ² de grille ;	
Surface de chauffe	dans les éléments économiseurs :	
	19 dm ² par m ² de grille.	
	Surface de grille :	4 m ² 02.
Rapport de la surface de grille à la surface de chauffe.	Tubes.	85 m ² 95
	Économiseur	41 . 90
	Total.	<u>127 m² 95</u>
Grille système Wackernie à vide de 7 mm.	Tubes	21,38 %
	Total.	31,80 %
	Surface des vides : 28 % de la surface totale de la grille.	

L'alimentation se fait par un petit cheval Belleville ; l'eau est refoulée dans l'économiseur et passe ensuite dans la chaudière. Quant à la vapeur d'échappement du petit cheval, elle est envoyée dans un réchauffeur tubulaire ; la vapeur passe autour des tubes, à l'intérieur desquels circule l'eau d'alimentation.

La température de cette eau est donc déjà élevée par son passage dans le réchauffeur, avant l'arrivée à l'économiseur.

La pression de l'air aux mélangeurs de gaz était obtenue au moyen d'un compresseur actionné directement par un moteur à vapeur.

Notons également que l'on peut remplacer, dans les mélangeurs, l'air sous pression par de la vapeur prise sur la chaudière ; c'est ce que l'on a dû faire par moments à la suite d'avaries au compresseur.

Programme des essais. — Les essais ont été effectués en 1897 dans l'atelier d'expériences de la maison Delaunay-Belleville et C^{ie}.

Leur but était de vérifier le rendement de la chaudière à diverses allures, en faisant varier la combustion par mètre carré de grille de 75 à 175 kg. de charbon.

Une première série d'essais a été faite du 26 au 30 octobre en augmentant successivement la combustion par mètre carré de grille, de 75 à 175 kg. Une deuxième série d'essais a été faite du 12 au 18 novembre, dans l'ordre inverse, en passant de 175 à 75 kg., afin de contrôler les résultats obtenus dans la première série.

Ces résultats sont consignés dans le tableau I, pages 210 et 211.

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 lit. 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 bâche inférieure.

b). Le charbon employé était du Cardiff, criblé au moyen d'une fourche dont les dents étaient espacées de 19 mm., de façon à laisser de côté les fines et les poussières. Le charbon, ainsi criblé, était apporté dans la chaufferie en sacs de 50 kg. environ. Ils étaient ensuite pesés à 51 kg. avant d'être distribués au chauffeur. Les sacs vides étaient déduits en poids à la fin de l'essai.

c). Le foyer comporte 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 immédiatement après. Le chauffeur n'avait à s'occuper que de son feu ; les conditions de marche étant 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.

La pression à la chaudière a été très régulière.

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. Cependant, pour l'essai du 26 octobre à 70 kg. il y en a eu un de 1 h. 5' à 1 h. 10'.

Les feux étaient complètement décrassés à la fin de l'essai et les mâchefers pesés.

Les détails de l'essai sont consignés dans le tableau II, pages 212-213.

TABLEAU I.

Essais effectués à diverses allures sur un générateur Belleville.

Type B 9 avec économiseur (août et novembre 1897).

TABLEAU II.

Essais effectués à diverses altitudes sur un générateur Belleville.

Type B avec économiseur.

DATE des essais 1897	PRESSION de vapeur		PRESSION d'air aux mélangeurs		NIVEAUX colonnes		TIRAGES			TEMPÉRATURE			ANALYSE des gaz			RÉSIDUS du charbon			OBSERVATIONS									
	Générateur	Tirage	auto-moteur	retour	Ouverture du cendrier etau	Cendrier	Boites à tubes	Cheminée	de l'air extérieur	à la bâche avant le réchauffeur	entre après le réchauffeur	soufflerie	température dans le cendrier	calorimètre	CO ₂	O	CO	humidité	cendres	mâchefers	Total des cendres et des mâchefers							
							bas	haut																				
26 octobre	14,15	0,788	en m d'eau	em	em	mm	mm	mm	7,46	14°, 18	13°, 54	39°, 32	98,4	37,2	217°, 2	9,75	8,75	0,00	1,95	3,34	3,53	6,87	197°, 4	2 238 ^k , 8	22 155 ^k	9,896		
18 novembre	14,38	1,12	{ 20 V = 1 6 A = 7	{ 22,88	62,8	1,1	3,40	5	5,58	5,61	9,36	7,62	40,80	97,3	42	232	12	7,05	0,00	1,66	4,17	3,33	7,50	198,1	2 252	23 675	10,513	
27 octobre	14,41	1,10	6 ^m , 99	23,73	62,68	1,95	2,18	5,23	7,45	9,56	12,95	12,89	39,47	107	33,47	273,47	»	»	»	1,75	4,72	3,12	7,84	198,2	2 358	22 925	9,722	
17 novembre	14,96	1,17	{ 18,5 V = 1 7 A = 5	{ 23,16	65,94	1,97	2,82	5,37	7,17	8,05	8,89	6,92	34,63	104,66	285	12,50	6,30	0,00	2,17	5,93	2,62	8,55	199,9	2 402	23 735	9,881		
28 octobre	14,74	2,062	8 m	23,56	67	3	1,67	5,38	10,74	12,56	13,78	12,47	33,50	114,41	56	331,56	»	»	»	1,75	4,06	3,38	7,44	199,2	2 501	23 775	9,506	
16 novembre	14,57	3	8	22,73	63,66	2,88	2,82	6,03	12,67	12,79	8,50	7,26	37,53	111,28	306	13,17	5,37	0,00	1,70	4,80	2,78	7,58	198,6	2 505	24 150	9,648		
29 octobre	15,50	3,83	Chaudière économique	9 ^m , 00	4 ^m , 50	24,54	68,39	4,23	1,08	7,25	12,67	18,70	14,73	12,27	32,15	135,95	387,69	13,95	4,40	0,00	1,72	6,66	3,50	10,18	201,5	2 353	21 380	9,086
13 novembre	15,06	3,85	23,33	V	23	65,5	3,64	1,75	7,32	12,79	15,64	15,46	6,58	35	127,69	58,389,58	13,93	4,13	0,00	1,56	4,65	3,02	7,67	200,2	2 402	22 325	9,294	
30 octobre	15,54	5,41	10	3 ^m , 46	24,61	69,23	4,88	0,88	8,3	15,20	24,21	14,80	12	33,92	150,421,15	441,15	16,20	2,32	0,00	1,93	4,17	2,40	6,57	201,6	2 801	24 765	8,841	
12 novembre	15,02	6,53	10	1,54	24,46	69,38	5	0,86	7,78	15,37	24	13,88	8,54	31,54	149,83	403,07	13,73	5	0,00	1,36	5,89	2,71	8,60	200	2 761	23 965	8,680	
19 novembre	15,56	6,65	10	0	23,07	68,07	4,04	1,75	8,28	15,78	21,60	9,08	7	25,84	143,84	61,404,61	16,05	2,70	0,00	1,98	3,34	2,36	5,70	201,5	2 802	24 995	8,920	

* Le réchauffeur a dû être arrêté à 3 heures par suite d'une fuite qui s'y était produite. Nous avons recueilli cette fuite pour déduire de la vaporisation de la chaudière. Une 5^e heure d'essai a été faite sans réchauffeur. En prenant comme température d'entrée à l'économiseur la moyenne obtenue pendant les quatre premières heures (37°,53), nous avons pu corriger les rendements obtenus en admettant que le réchauffeur ait marché pendant les 5 heures d'essai.

Les chiffres inscrits dans les diverses colonnes sont des moyennes résultant de relevés effectués régulièrement tous les quarts d'heure.

g). Niveau d'eau. Les niveaux dans la chaudière étaient lus : 1^o sur le tube placé, comme dans les chaudières analogues, sur la colonne automotrice ; 2^o sur un tube, placé spécialement à cet effet sur l'une des colonnes de retour reliant l'épurateur 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 cm. d'eau en moyenne.

h). Tirage. La cheminée n'ayant que 9 m. 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. Les analyses de gaz relatées dans le tableau II sont les moyennes des chiffres obtenus dans les diverses analyses faites pendant chaque essai.

Ces analyses permettaient 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.

Au premier essai, le 26 octobre, à l'allure de 70 kg. 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.

Les analyses ont été reprises lors de chaque essai. Il ressort nettement des résultats qu'elles ont donnés que la combustion se fait avec peu d'air en excès, puisqu'il n'a pas été trouvé d'oxyde de carbone, même avec 2 à 3 0/0 d'oxygène seulement, chiffres trouvés aux fortes allures de 173 kg. par mètre carré de surface de grille.

On peut remarquer que, lors de l'essai du 12 novembre à 173 kg., la proportion a été plus forte que lors de l'essai du 30 octobre effectué

dans les mêmes conditions. Ce fait tient à ce que, le 12 novembre, les feux ont été tenus trop bas, ce qui explique l'excès d'air qui a pu passer par la couche de combustible.

L'essai a alors été repris le 19 novembre ; la couche de combustible ayant été normale, la proportion d'air dans les gaz de la combustion est redevenue sensiblement ce qu'elle était lors de l'essai du 30 octobre.

La loi de variation dans la composition des gaz est très nette. On voit que la proportion d'acide carbonique a été en augmentant depuis la marche à 70 kg. jusqu'à celle de 175 kg., en même temps que la proportion d'oxygène a été en diminuant.

Les résultats de l'essai du 12 novembre font seuls exception à la règle ; mais comme nous l'avons dit, pendant cet essai, les feux ont été tenus trop bas.

j). Eau entraînée. — Des expériences ont été faites lors de chaque essai pour déterminer l'eau entraînée dans 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 exclue la présence d'eau entraînée par la vapeur, même aux fortes allures.

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, nous nous sommes servis d'un thermomètre à mercure gradué jusqu'à 340° et d'un calorimètre Salleron pouvant être employé jusqu'à 1000°.

Après un certain nombre d'observations, nous avons reconnu que les indications du pyromètre à cadran étaient en retard sur celles données par nos appareils, et que l'écart moyen était de 20°. C'est pourquoi nous avons augmenté de 20° les indications du pyromètre à cadran qui a été pris pour base par suite de la continuité de son fonctionnement.

Enfin, nous avons relevé également les températures dans la chambre de combustion entre la chaudière et l'économiseur.

Les chiffres du tableau suivant ont été trouvés.

DATE DES ESSAIS	TEMPÉRATURE DES GAZ		Réchauffement de l'eau dans l'économiseur.
	Chambre de combustion Calorimètre.	Cheminée Calorimètre.	
26 octobre. 70 ^k , par m ² grille . . . 18 novembre. —	» 268	217°2 232	59° 12 57 20
27 octobre. 100 kilog. 17 novembre. —	420 385	273 47 285	67 53 69 68
28 octobre. 125 kilog. 16 novembre. —	420 410	331 56 306	81 73 87
29 octobre. 150 kilog. 19 novembre. —	502 440	387 69 389 50	103 54 92 08
30 octobre. 175 kilog. 12 novembre. — 19 novembre. —	576 550 564	441 15 403 07 404 61	116 31 117 53 117 70

En établissant la relation qui existe entre le nombre de calories gagnées, d'une part, par l'eau de l'économiseur, et cédées, d'autre part, par les gaz chauds qui passent de la température élevée de la chambre de combustion à celle donnée à la base de la cheminée, on reconnaît immédiatement que les températures trouvées à la chambre de combustion sont en général très faibles.

Il faut en voir la raison dans l'irrégularité du réchauffement de l'eau dans l'économiseur, irrégularité d'autant plus grande que la marche de la chaudière est plus active, ainsi qu'en témoignent les courbes de température de l'eau à la sortie de l'économiseur, données par un thermomètre enregistreur (voir *Pl. 29*).

On peut voir que ces courbes sont très mouvementées et qu'elles le sont d'autant plus que la combustion est plus intense. Dans ce cas, en effet, il est plus difficile d'assurer la régularité du chauffage de l'eau par suite de la forte épaisseur de charbon sur la grille ; celle-ci peut alors se dégarnir par moments, ce qui entraîne des rentrées d'air et l'extinction des gaz dans la chambre de combustion.

La température dans cette chambre s'abaisse alors pour remonter ensuite lorsque la grille est garnie régulièrement.

On est donc en droit d'admettre que ces grandes variations de température de sortie de l'eau de l'économiseur sont dues à des variations encore plus grandes de températures des gaz dans la chambre de combustion. Les gaz peuvent, en effet, s'allumer quand leur composition et la température le permettent, puis s'éteindre quand les compositions changent.

Pour se rendre compte de ces variations, il faudrait un pyromètre sur lequel on pût lire constamment les températures.

Or, nos relevés étant faits avec un calorimètre qui exige pour chaque observation un temps assez long, il en résulte que l'on peut expliquer ainsi les désaccords trouvés entre les relevés faits à la chambre de combustion et à la cheminée.

Les variations de température de l'eau de l'économiseur à sa sortie se trouvent d'ailleurs confirmées par les écarts trouvés entre les températures du gaz à la cheminée pendant chaque essai, écarts qui sont consignés sur les graphiques de température de l'eau de l'économiseur.

Nous avons représenté graphiquement les résultats obtenus lors de chaque essai. (Ces graphiques sont reproduits *Pl. 29*).

De ces essais découlent les deux conclusions suivantes :

1° A 70 kg. de charbon par mètre carré de surface de grille, ce qui correspond sensiblement à l'allure industrielle pour laquelle sont établies les chaudières Belleville, à terre, les vaporisations ont été :

Essai du 26 octobre : 21^k,66 par mètre carré de surface de chauffe totale et 32^k,22 par mètre carré de surface de chauffe productrice.

Essai du 18 novembre : 23^k,15 par mètre carré de surface de chauffe totale et 34^k,43 par mètre carré de surface de chauffe productrice.

Les rendements correspondants, lors de ces deux essais, ont été de 10^k,619 et 11^k,430 par kilogramme de charbon sec et net, en eau à 0° et vapeur à 13 kg.

2° Le passage de la marche de 70 kg. à 173 kg. n'a entraîné qu'une faible diminution de rendement en vapeur par kilogramme de charbon.

C'est ainsi que pendant la première série d'essais, le rendement ne s'est abaissé que de 10^k,619, pour l'allure à 70 kg., à 9^k,493, pour l'allure à 173 kg., soit une diminution de 10,58 %.

Pendant la deuxième série d'essais, le rendement s'est abaissé davantage ; il est passé de 11^k,430 à 9^k,517, soit une diminution de 16,73 %, mais il faut remarquer que pour cette série le rendement à 70 kg. a été de 11^k,430, supérieur à celui de 10^k,619, obtenu également à 70 kg., à la première série d'essais, alors que les rendements à 173 kg. sont restés sensiblement les mêmes dans les deux séries.

Générateurs Belleville, type transportable.

Ce type est étudié pour permettre des déplacements faciles et sans autres frais que ceux de transport. (Voir *Pl. 30*).

Il permet à la petite industrie d'installer une puissance relativement grande dans des emplacements très restreints, même dans des étages habités.

Lorsque les charrois sont impossibles, comme dans les pays montagneux, les générateurs transportables peuvent être disposés pour être portés à dos de mulet. Le poids du colis le plus lourd varie de 130 à 220 kg., selon la puissance du générateur.

La construction des générateurs transportables est particulièrement soignée ; elle est simplifiée autant que possible pour éviter des excédents de poids. Le rendement par kilogramme de combustible est moins élevé que dans les générateurs Belleville du type fixe.

Il est toutefois satisfaisant, étant donné les conditions spéciales à remplir.

Les générateurs transportables sont composés d'éléments simples amovibles, en tubes de 82 mm. de diamètre extérieur ou en tubes de 100 mm., suivant les modèles ; la production normale de ces appareils au tirage naturel varie entre 100 et 800 kg. de vapeur sèche à l'heure.

Jusqu'à, et y compris la production de 400 kg., les générateurs transportables comportent une enveloppe complète en tôle et cornières ; ils sont expédiés tout montés et arrivent à destination prêts à fonctionner.

Lorsqu'on n'est pas strictement limité par la hauteur de l'emplacement disponible, ou par le poids, les générateurs du type transportable peuvent être munis de deux étages supplémentaires de tubes et d'un régulateur de registre ; cette adjonction n'augmente pas sensiblement le prix et permet d'obtenir avec ce type de générateur des résultats se rapprochant de ceux des générateurs fixes, non munis d'économiseur.

Chevaux alimentaires système Belleville.

Les chevaux alimentaires Belleville, à action directe, sont caractérisés par leur simplicité et la solidité de tous leurs organes.

Ils ne possèdent pas de volant et chaque coup de piston est indépendant du précédent et du suivant ; aucune force vive n'est donc emmagasinée et l'on peut fermer brusquement le refoulement sans avoir à redouter des ruptures de tuyaux ou d'organes du cheval.

La remarquable régularité de marche de ces chevaux alimentaires,

à faible comme à grand débit, résulte des dispositions qui leur sont spéciales et qui ont pour résultat :

1^o D'obtenir un passage certain du point mort même aux vitesses les plus réduites.

2^o D'empêcher les emportements en cas de désamorcement du cheval ou de diminution brusque de la résistance au refoulement.

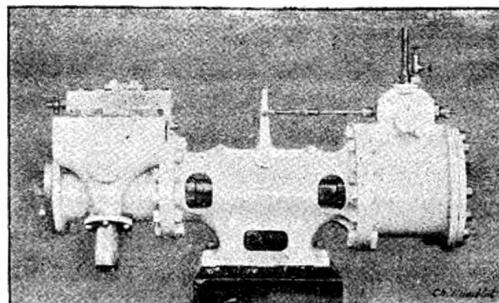


Fig. 401.

Les chevaux Belleville ont subi toute une série de transformations avant d'arriver au modèle actuel (fig. 101 et 102).

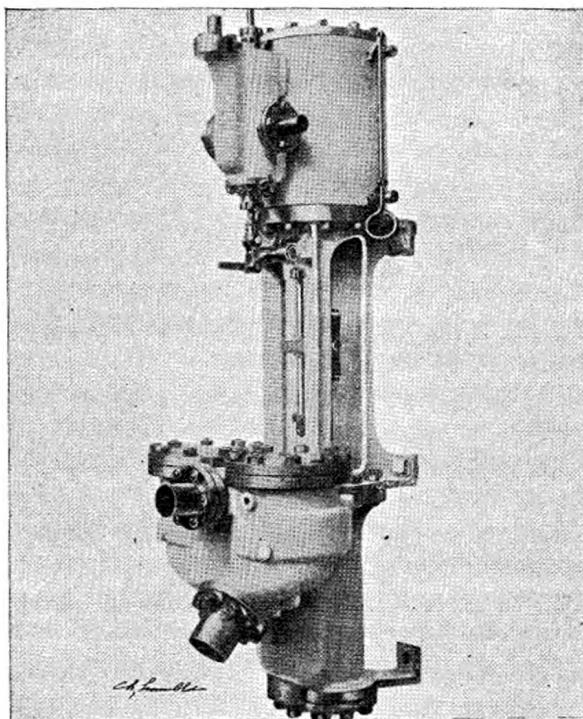


Fig. 402.

Dans le premier modèle, le passage du point mort était obtenu à l'aide d'un robinet qui s'ouvrait à chaque fin de course et permettait à une

certaine quantité d'eau refoulée par le cheval de s'écouler dans la chambre d'aspiration. Il en résultait une augmentation de vitesse des pistons qui facilitait le déplacement du tiroir et permettait ainsi le renversement de la marche.

Cette combinaison a été remplacée par une disposition nouvelle consistant en des leviers-clapets d'évacuation disposés aux deux extrémités du corps de pompe. Le piston, en rencontrant les leviers-clapets avant la fin de la course, les soulève, ce qui donne lieu à une décharge analogue à celle que l'on obtenait avec l'ancien robinet.

Cette disposition a été régulièrement appliquée, sauf quelques modifications de détails, à tous les chevaux Belleville construits depuis 1884; elle donne toute satisfaction.

Les chevaux alimentaires Belleville ont été spécialement étudiés en vue de l'alimentation des générateurs Belleville ; mais ils peuvent être employés pour tous les autres systèmes et particulièrement dans les installations où les chaudières fonctionnent à une pression élevée.

Pour les générateurs Belleville munis d'un régulateur automatique d'alimentation, le cheval alimentaire règle lui-même son allure d'après les besoins de l'alimentation.

Lorsque le régulateur est fermé, le cheval continue à fonctionner, mais très lentement, en marchant sur les fuites des segments du piston à eau ; il accélère au contraire son allure dès que le régulateur commence à s'ouvrir. Le chauffeur n'a donc pas à se préoccuper de mettre en marche le cheval alimentaire lorsque le niveau baisse dans le générateur, ni à l'arrêter après l'établissement de ce niveau.

Les chevaux alimentaires Belleville peuvent, en raison de leur puissance de refoulement, projeter de l'eau à une grande hauteur ; il est facile de les utiliser comme pompes à incendie dans les établissements où ils sont appliqués. Ils conviennent, d'ailleurs, comme il est dit plus haut, à tous les usages industriels.

MM. Delaunay-Belleville et Cie construisent des chevaux horizontaux et des chevaux verticaux. Les dispositions générales des deux types sont analogues, les chevaux verticaux sont surtout employés pour les grandes puissances ou lorsque cette disposition facilite leur installation.

Les cylindres à vapeur des chevaux alimentaires sont éprouvés au cours de leur construction à la pression hydraulique de 25 kg. par centimètre carré et les corps de pompe à 33 kg.

Toutes les pièces sont interchangeables, de sorte qu'il est très facile de les remplacer, lorsqu'il y a lieu, sans avoir à faire aucun ajustage sur place.

Chaudières Du Temple.

La Société « Du Temple », Paris, exposait une chaudière système Du Temple, à flamme directe, dans laquelle les gaz chauds s'élèvent verticalement à travers le faisceau tubulaire, pour se rendre à la cheminée placée au-dessus du foyer, et une chaudière, système Du Temple-Guyot à flamme déviée, dans laquelle les gaz sont contraints par la disposition du faisceau tubulaire à suivre un parcours déterminé, de manière à prolonger leur contact avec les parois des tubes.

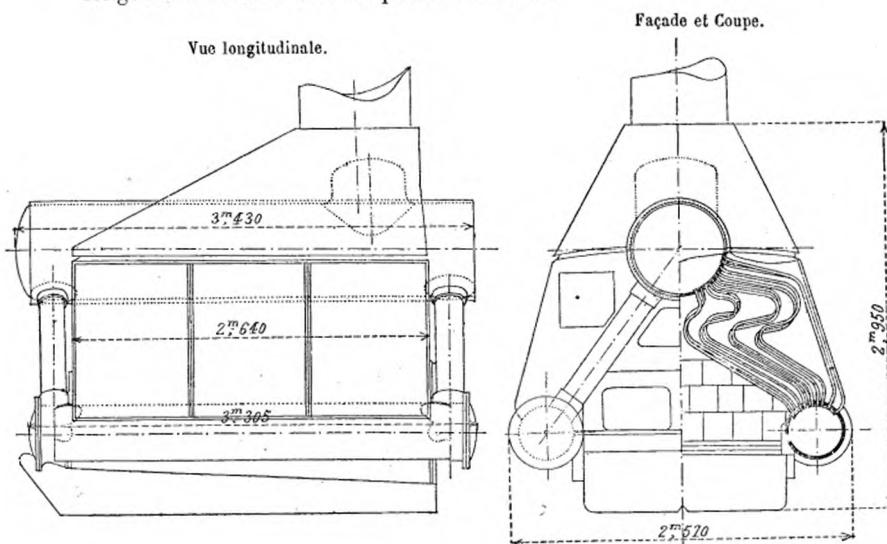


Fig. 103. — Chaudière Du Temple.

Chaudière Du Temple (fig. 103). — La chaudière Du Temple est caractérisée par la circulation automatique et rapide de toute l'eau qu'elle contient, dans un faisceau composé de tubes de faible diamètre exposés au feu.

Considérée dans ses parties essentielles, cette chaudière est constituée par un collecteur supérieur relié à deux collecteurs inférieurs (distributeurs), 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.

L'eau remplit les tubes et les collecteurs jusqu'au tiers environ du collecteur supérieur.

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.

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'entrainement 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 rentre par les orifices intérieurs une quantité d'eau équivalente, remplacée dans les distributeurs par une même quantité amenée du collecteur supérieur par les tuyaux de retour.

L'exposé des différentes théories sur la circulation de l'eau dans les chaudières Du Temple nous entraînerait un peu loin ; il suffit de dire qu'elles convergent toutes à une circulation très active, qui permet à l'eau de s'échauffer promptement et à la vapeur de se dégager facilement.

Cette circulation rafraîchit d'une manière continue les surfaces présentées à l'action du feu, ce qui leur assure une longue durée. Enfin, elle augmente dans une très large proportion la puissance évaporatoire de la chaudière.

Sécurité. — Le faisceau tubulaire seul est exposé au feu et par conséquent susceptible d'usure. Or, ses éléments, en acier étiré à froid et sans soudure, n'ont que 20 ou 25 mm. au plus de diamètre intérieur, et sont tous éprouvés à 150 atmosphères avant d'être mis en place.

D'ailleurs, l'un de ces tubes viendrait-il à céder que cet incident ne saurait avoir d'autre conséquence qu'une extinction partielle des feux et l'arrêt graduel de la machine, sans que jamais il puisse en résulter le moindre danger pour le personnel. Sur les nombreuses chaudières livrées jusqu'à ce jour, aucune n'a donné lieu au plus petit accident.

Réparations. — Il peut arriver néanmoins qu'un tube vienne à brûler ou à s'ouvrir sous la pression. Le remplacement se fait très aisément, grâce au joint métallique qui assemble le tube aux collecteurs.

Ce joint permet de démonter le tube avarié et de lui substituer, dans l'espace de quelques minutes, un tube neuf. Il est facile de voir, sur le croquis ci-joint (fig. 104), que le serrage de l'écrou permet d'établir un contact parfait entre la virole et le collecteur, assurant ainsi une étanchéité absolue.

Dans le cas où l'on ne disposera pas de tube de rechange, il suffirait de remplacer le tube crevé par des tampons ou des écrous borgnes.

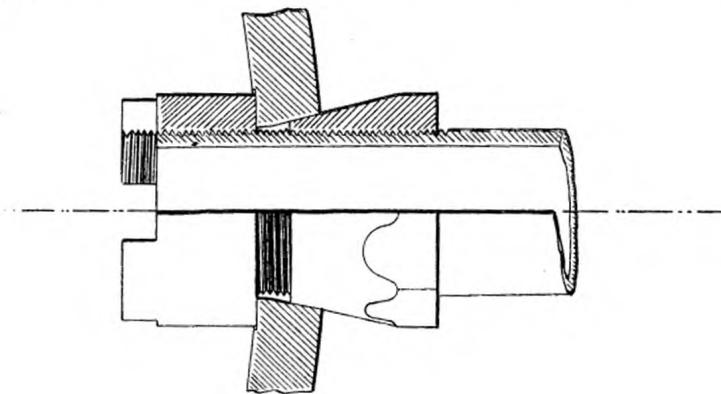


Fig. 404.

Souplesse de production. — La chaudière Du Temple, en raison de la rapidité avec laquelle elle peut être mise en pression, et par suite de son insensibilité aux effets de la dilatation, possède une grande souplesse de production de vapeur.

Des expériences souvent répétées ont montré qu'il était facile d'arrêter en pleine marche, sans pour cela faire tomber les feux. Il suffit d'ouvrir les portes de façade et de soulager légèrement les soupapes de sûreté. L'épreuve inverse a prouvé que les plus grandes chaudières, celles de 200 m² par exemple, exigent moins d'un quart d'heure pour passer de 1 à 15 kg. de pression.

Régularité de fonctionnement. — 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 remous facilitent leur dépôt; cette région se trouve précisément ménagée à la partie inférieure de la chaudière d'où les purgeurs extraient les boues dépourvues d'adhérence.

La circulation continue et rationnelle ne donne lieu à aucun entraînement d'eau ; des mesures précises effectuées au calorimètre pendant des essais à la chambre close, ont donné comme coefficient moyen de la siccité de la vapeur : 0,018, c'est-à-dire moins de 2/100.

Chaudières marines. — Les générateurs Du Temple ont reçu de nombreuses applications dans les marines de différents pays, en particulier pour les torpilleurs.

SOCIÉTÉ ANONYME
DU TEMPLE
CHERBOURG

Arsenal de Cherbourg
ESSAI OFFICIEL DE LA CHAUDIÈRE N° 280

DATE DE L'ESSAI
Le 12 Juillet 1898

Surface de chauffe tubulaire 99 m² 85
Poids de la chaudière vide et complète. 5939 k.

GOUVERNEMENT FRANÇAIS

Torpilleurs 108-111 (RECHANGE)

	1 ^{re} HEURE					2 ^e HEURE				
	2 h	2 h 15	2 h 30	2 h 45	3 h	3 h 15	3 h 30	3 h 45	4 h	
Heures des observations	2 h									
Pressions { à la chaudière	10	»	»	»	»	10 k	»	»	»	
d'air dans le vase clos en mm d'eau	35 mm	44 mm	45 mm	40 mm	40 mm	43 mm	43 mm	40 mm	44 mm	
Température { dans la chaufferie	39°	44°	54°	47°	47°	46°	47°	47°	47°	
extérieure	26°	»	»	»	»	26°	»	»	»	
Charbon brûlé { par 1/4 d'heure	»	160 k	200 k	200 k	160 k	200 k	160 k	200 k	160 k	
par heure.	720 k	»	»	»	»	720 k	»	»	»	
{ par m ² de grille et par heure. . .	269 k	»	»	»	»	269 k	»	»	»	
Eau vaporisée { par 1/4 d'heure	»	1420 k	1 480 k	1 470 k	1 400 k	1 350 k	1 300 k	1 410 k	1 370 k	
par heure.	5 770 k	»	»	»	»	5 330 k	»	»	»	
par kil. de charbon et par heure. . .	8 k	»	»	»	»	7 k 4	»	»	»	
Température de l'eau d'alimentation	10°	»	»	»	»	10°	»	»	»	

SOCIÉTÉ ANONYME
DU TEMPLE
CERBOURG

Arsenal de Cherbourg
—
ESSAIS OFFICIELS DE LA CHAUDIÈRE N° 220

DATE DE L'ESSAI
Le 16 Juillet 1899

Surface de chauffe tubulaire. 129 mq.
Poids de la chaudière vide complète. . . 8 000 k.

GOUVERNEMENT IMPÉRIAL RUSSE

	1 ^{re} HEURE				2 ^e HEURE			
	5 h 20	5 h 35	5 h 50	6 h 05	6 h 20	6 h 35	6 h 50	7 h 05
Heures des observations								
Pressions { à la chaudière	14 k	13 k	13,25 k	13,50 k	13,50 k	13,50 k	14 k	13,50 k
d'air dans le vase clos en mm d'eau	2 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
d'air dans la cheminée en mm d'eau	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm
Température { dans la chaufferie	25°	26°	26°	26°	26°	26°	26°	26°
au fond du vase clos	30°	30°	30°	31°	32°	32°	32°	32°
Charbon brûlé { par 1/4 d'heure	40 k	40 k	40 k	30 k	50 k	40 k	20 k	20 k
par heure	150 k	"	"	"	130 k	"	"	"
par m ² de grille et par heure	119 k	"	"	"	103 k	"	"	"
Eau vaporisée { par 1/4 d'heure	370 k	350 k	360 k	390 k	290 k	370 k	350 k	370 k
par heure	1470 k	"	"	"	1380 k	"	"	"
par m ² de chauffe et par heure	11,4 k	"	"	"	11 k	"	"	"
par kil. de charbon et par heure	9,8 k	"	"	"	10,5 k	"	"	"
Température de l'eau d'alimentation	12°	"	"	"	"	"	"	"

Ces deux tableaux donnent les résultats d'essais effectués sur ces chaudières par les marines militaires de la Russie et de la France.

Chaudière Du Temple-Guyot.— Cette chaudière, dont le modèle a été adopté par l'Etat pour les appareils évaporatoires du *Jeanne d'Arc*, croiseur 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 n'est plus la même (fig. 105).

Elévation et Coupe.

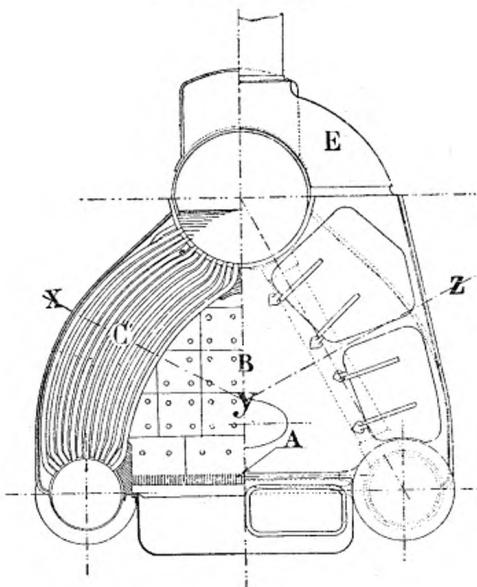


Fig. 105. — Chaudière Du Temple-Guyot.

Les deux premières séries de tubes (les plus rapprochées du feu) sont constituées par des tubes à facettes amenés au contact sur toute leur longueur et formant ainsi une voûte centrale 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 donc obligés de parcourir toute la longueur du foyer en léchant les parois de la voûte centrale avant de s'engager dans le faisceau tubulaire, qui doivent traverser pour se rendre à la cheminée placée à l'avant de la chaudière.

Il y a donc ainsi « retour de flammes », au sens propre du mot.

SOCIÉTÉ ANONYME
DU TEMPLE
CHERBOURG

Arsenal de Cherbourg

DATE DE L'ESSAI
Le 22 Avril 1899

ESSAI OFFICIEL DE LA CHAUDIÈRE N° 302

Surface de chauffe tubulaire. 81 mq.
Poids de la chaudière vide et complète. 5444 k.

GOUVERNEMENT FRANÇAIS

Torpilleur type 42 (RECHANGE)

	1 ^{re} HEURE					2 ^e HEURE			
	2 h 30	2 h 45	3 h	3 h 45	3 h 30	3 h 45	4 h	4 h 15	4 h 30
Heures des observations	2 h 30	2 h 45	3 h	3 h 45	3 h 30	3 h 45	4 h	4 h 15	4 h 30
Pressions { à la chaudière	14 k	14 k	14 k	14 k	14 k	14 k	14 k	14 k	14 k
{ d'air dans le vase clos en mm d'eau .	63 mm	63 mm	63 mm	63 mm	63 mm	68 mm	68 mm	68 mm	68 mm
Température { dans la chaufferie	28°	28°	28°	28°	28°	29°	29°	29°	29°
{ extérieure	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Charbon brûlé { par 1/4 d'heure . . . . .	»	120 k	120 k	120 k	120 k	120 k	120 k	120 k	120 k
{ par heure.	480 k	»	»	»	»	480 k	»	»	»
{ par m ² de grille.	279 k 070	»	»	»	»	279 k 070	»	»	»
Eau vaporisée { par 1/4 d'heure	»	1190 k	1070 k	1050 k	1100 k	1100 k	1100 k	1130 k	1140 k
{ par heure.	4440 k	»	»	»	»	4440 k	»	»	»
{ par kil. de charbon et par heure.	9,48 k	»	»	»	»	9,25 k	»	»	»
Température de l'eau d'alimentation	10°	»	»	»	»	10°	»	»	»

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.

Coupe XYZ du faisceau tubulaire.

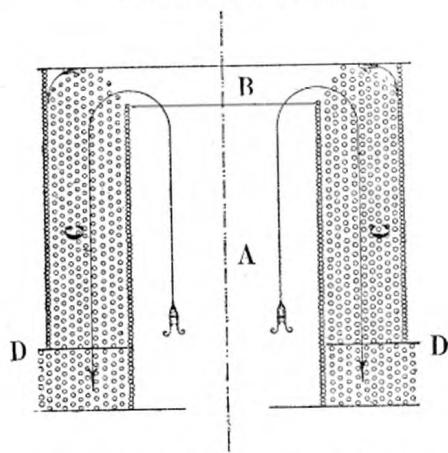


Fig. 406. — Chaudière Du Temple-Guyot.

La forme simple et uniforme des tubes, tous cintrés au même rayon, est éminemment favorable à la circulation de l'eau et facilite le décrassage intérieur des tubes.

Le grand volume attribué à la chambre de combustion permet d'obtenir un grand développement de flamme et une combustion aussi parfaite que possible.

La légèreté de la chaudière est remarquable; quelques modèles pèsent en ordre de marche, à peine le poids d'eau qu'ils peuvent vaporiser à l'heure.

Enfin le rendement est très élevé, aux plus fortes allures de combustion : 300 kg. et plus, par mètre carré de grille. Nous donnons, dans le troisième tableau précédent, les résultats d'essais effectués sur une de ces chaudières par la marine française.

Chaudières Fitzner et Gamper.

En plus de la chaudière à tubes d'eau qui fonctionnait à l'usine Suffren et que nous avons examinée dans un précédent chapitre, la Société des établissements W. Fitzner et K. Gamper exposait dans la section russe du groupe IV trois autres générateurs savoir :

- 1^o Une chaudière à tubes-foyers du système Lancashire.
- 2^o Une chaudière multitungulaire.
- 3^o Une chaudière sphérique.

Chaudière à tubes-foyers du système Lancashire. — Cette chaudière a 2^m,300 de diamètre intérieur, 10^m,600 de longueur et 106 m². de surface de chauffe. Elle est capable de produire 2 530 à 3 450 kg. de vapeur par heure à la pression de 12 kg. Elle est munie de deux tubes-foyers, système Gamper-Maciéjewski, tubes semi-ondulés de 900 mm de diamètre intérieur combinés avec les tubes coudés Galloway-Gamper (fig. 107).

Les fonds sont bombés, emboutis à la presse hydraulique ; le manteau de la chaudière se compose de cinq viroles faites chacune en une seule tôle ; la rivure longitudinale de ce manteau, obtenue à doubles couvre-joints découpés en feston et triplement rivés, est placée hors des carneaux ; la rivure circulaire est à recouvrement et à deux rangées de rivets.

Toutes les tubulures pour les appareils de sûreté, d'alimentation, de vidange, de niveau d'eau, etc..., sont en tôle, soudées, avec brides dressées au tour.

Les tubes-foyers sont soudés, leur assemblage est du type Adamson ; les coudes Galloway-Gamper sont également soudés entre eux et soudés de plus avec le corps des tubes-foyers.

La chaudière est constituée en tôles d'acier Siemens-Martin basique doux, ne prenant pas de trempe, de la meilleure qualité. Ces tôles sont fabriquées dans le pays, comme le prouvent les certificats délivrés par les autorités compétentes.

Pour la construction, chaque tôle qui a subi avec succès les épreuves réglementaires est recuite et passée à la raboteuse qui donne aux arêtes la forme convenable pour le matage. Les tôles sont ensuite cintrées à froid à l'aide de cylindres et recuites encore une fois ; les viroles du manteau sont assemblées et forées ensuite avec des perceuses électriques radiales et horizontales ; de cette façon, on obtient des trous parfaitement concentriques et on évite tout déplacement d'une tôle vis-à-vis de l'autre.

Le rivetage se fait à l'aide de puissantes riveuses hydrauliques. Le matage est pneumatique et les joints longitudinaux des viroles des tubes-foyers sont soudés.

Ce travail se fait mécaniquement, à l'aide de marteaux-pilons pneuma-

tiques spéciaux, sur des enclumes hydrauliques mobiles et au moyen du chauffage au gaz à l'eau, avec des foyers mobiles.

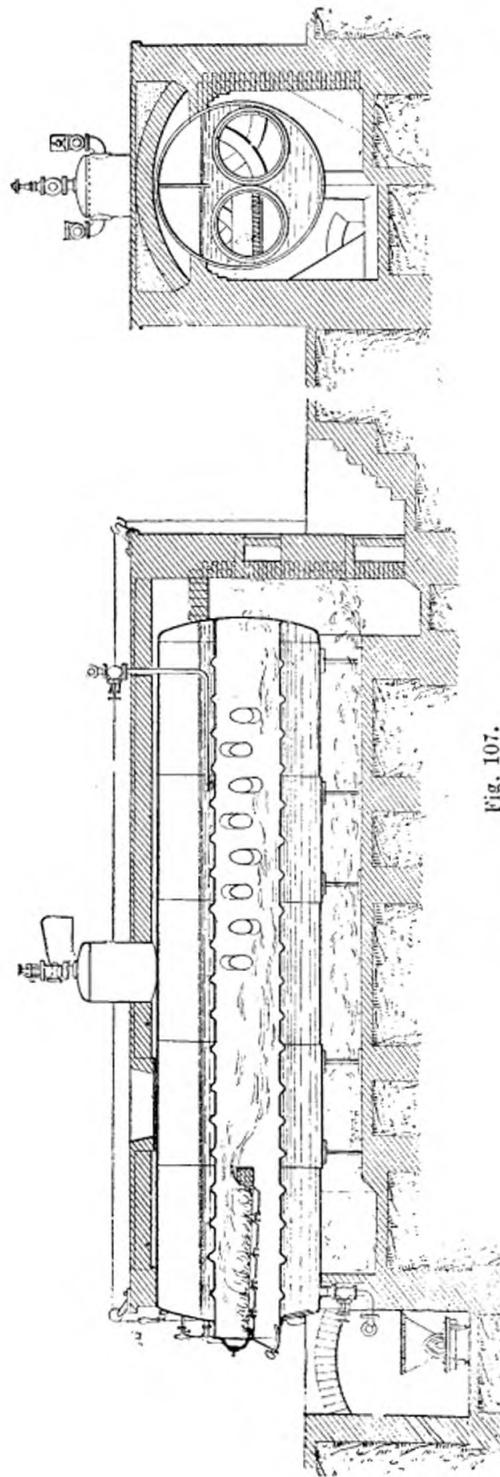


Fig. 107.

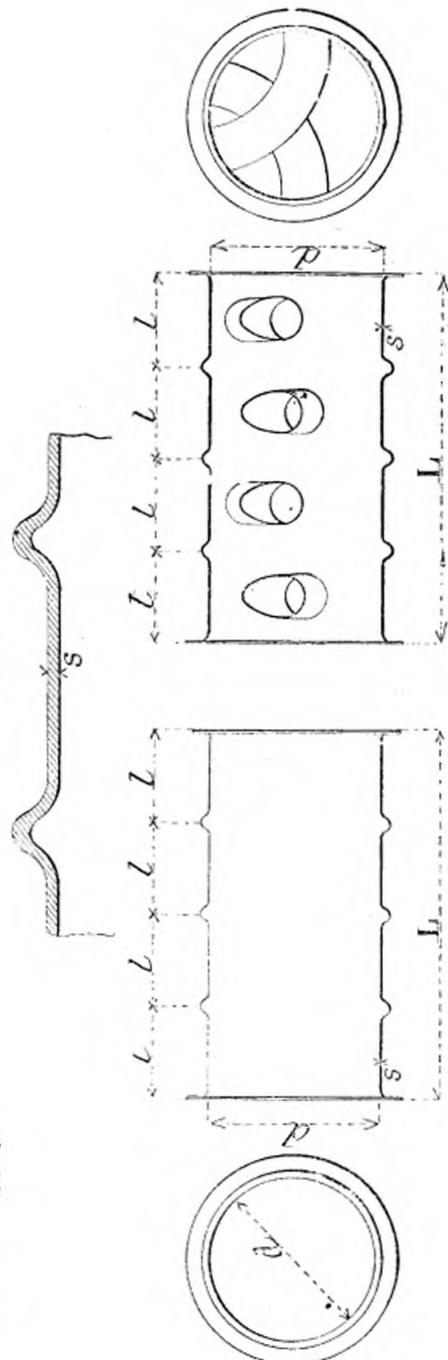


Fig. 108.

La soudure est parfaitement lisse, au point qu'elle reste introuvable sur la pièce. La résistance de cette soudure est la même que celle d'une partie quelconque de la tôle.

Après avoir été soudées, les viroles sont recuites ; elles passent ensuite par les cylindres qui leur donnent une forme absolument régulière. Les collets de ces viroles se font mécaniquement, sur des machines spéciales ; avec ce procédé on évite l'amincissement, toujours dangereux, sur la partie coudée du collet, amincissement qui se produit fatalement dans le cas du relèvement de ces collets au marteau. Les collets sortis de la machine ont au contraire une épaisseur bien uniforme.

Chaque virole, munie de ses collets qui sont alésés à un tour spécial est placée entre les deux tables d'une puissante presse hydraulique, entourée d'un foyer circulaire mobile au gaz, et chauffée à l'endroit où doit être créée l'onde.

Après un chauffage convenable, on exerce la pression hydraulique suivant l'axe de la virole, en introduisant en même temps l'air comprimé en dedans de la virole. Sous l'action de ces deux pressions, l'onde se forme presque instantanément (fig. 109).

De cette façon, la matière du tube est comprimée également et la partie la plus épaisse de l'onde est celle qui a le plus grand diamètre.

Dans les tubes ondulés ainsi obtenus, on découpe à la machine les ouvertures destinées à recevoir les tubes coudés Galloway-Gamper ; ces tubes sont introduits et unis avec le corps de la virole à coups de marteau, après avoir été chauffés à une température convenable (fig. 110).

Quand les tubes sont faits, on les assemble avec leurs anneaux Adamson ; on les fore sur des perceuses spéciales et on les rive au moyen de riveuses hydrauliques (fig. 111).

Le matage est obtenu ensuite à l'aide de petits marteaux pneumatiques.

Les tubes-foyers ainsi fabriqués ne présentent aucune rivure, aucun joint à l'action des gaz brûlants.

La forme rigoureusement cylindrique des viroles leur permet de supporter convenablement la pression de la vapeur à l'extérieur ; l'application des ondes permet d'employer une tôle plus mince que dans le cas d'un tube lisse de même diamètre et de même longueur et pour une pression équivalente.

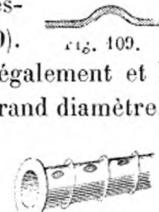


Fig. 109.



Fig. 110.

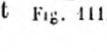


Fig. 111.

Le procédé Gamper-Maciejewski permet d'employer des tôles de toutes les épaisseurs et de fabriquer par conséquent des tubes de tous les diamètres et pour de très hautes pressions de marche. La longueur des viroles peut atteindre deux mètres.

Ces tubes-foyers présentant une certaine élasticité dans le sens de l'axe de la chaudière, se prêtent mieux que les tubes lisses aux déformations causées par l'action de la chaleur.

Les tubes Galloway-Gamper coudés, qui sont placés à la partie supérieure des tubes-foyers, augmentent la partie la plus active de la surface de chauffe et assurent au foyer une plus grande rigidité. Ils obligent les gaz à se replier vers la partie inférieure du tube-foyer en la forçant à un chauffage vigoureux et en enlevant les cendres qui s'y déposent ordinairement et forment une couche plus ou moins épaisse mauvaise conductrice de la chaleur.

La position de ces tubes coudés permet de faire la visite intérieure du tube-foyer, qui devient à peu près impossible avec les tubes Galloway ordinaires (fig. 412). Ces tubes augmentent enfin à un certain degré la circulation de l'eau dans la chaudière.



Fig. 412.

La chaudière est munie d'une garniture conforme aux règlements russes et d'une armature de foyer pour le chauffage au charbon.

La société Fitzner et Gamper construit les générateurs type Lancashire suivant les dimensions indiquées au tableau ci-après.

L'effet utile de ces chaudières est très élevé ; d'après les nombreuses expériences qui ont été faites dans différentes conditions de travail, il atteint environ 75 %.

Pour le chauffage au naphte, on n'emploie que les tubes Galloway droits et non les tubes coudés.

Comme rendement, ces chaudières donnent 22 à 24 kg. de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe ; ce chiffre atteint 30 kg. en marche forcée, avec chauffage au charbon. Le chauffage au naphte donne une vaporisation encore grande.

Dimensions principales

NUMÉROS	Surface de chauffe	Manteau		2 tubes-foyers	Dôme	Emplacement indispensable pour une chaudière montée séparément				Largeur du massif de 2 chaudières montées en batterie.			
		Diamètre intérieur	Longueur moyenne			Diamètre extérieur	Hauteur	Largeur		Longueur	Hauteur sans dôme		
								I (¹)	II (²)				
	m ²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
1	50	1800	7150	680	650	650	3100	3200	8120	2170	5680 5880		
2	55	1900	7350	730	650	650	3200	3300	8320	2220	5880 6080		
3	60	2000	7550	780	700	700	3360	3510	8570	2300	6200 6500		
4	65	2000	8100	780	700	700	3360	3510	9120	2300	6200 6500		
5	70	2100	8300	830	700	700	3720	3870	9450	2350	6790 7090		
6	75	2100	8850	830	700	700	3720	3870	10000	2350	6790 7090		
7	80	2200	8900	880	800	800	3820	4070	10100	2400	6990 7490		
8	85	2200	9400	880	800	800	3820	4070	10600	2400	6990 7490		
9	90	2300	9450	930	800	800	3980	4180	10700	2450	7310 7710		
10	95	2300	9950	930	800	800	3980	4280	11260	2450	7310 7910		
11	100	2300	10450	930	800	800	3980	4280	11700	2450	7310 7910		
22	100	2400	10000	980	900	900	4080	4380	11250	2500	7510 8110		

(¹) Maçonnerie allemande des carreaux. — (²) Maçonnerie anglaise des carreaux.

Chaudière multitubulaire système Gamper-Ibjauski. — La chaudière à tubes d'eau exposée par la société Fitzner et Gamper à l'état inerte est du même système que celle de l'usine Suffren, que nous avons examinée en détail dans un chapitre précédent (fig. 413).

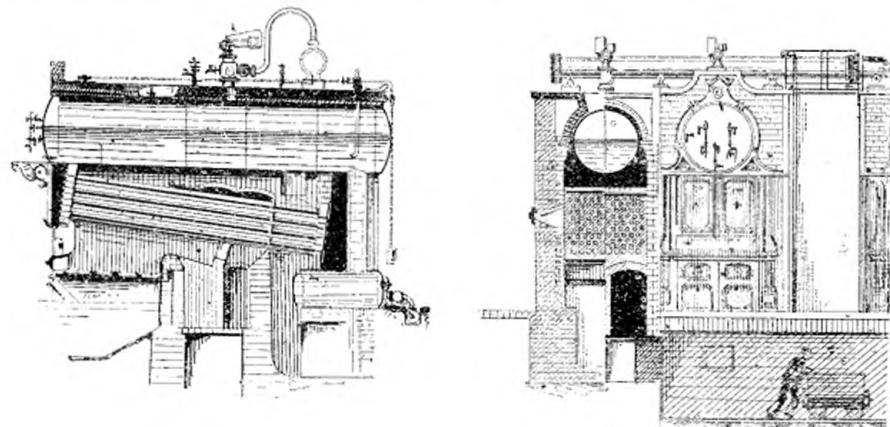


Fig. 413.

Elle ne diffère de celle-ci que par la surface de chauffe, portée à 120 m² au lieu de 130 m², et par l'adjonction d'un surchauffeur de vapeur système Hering (voir Pl. 31).

Ce surchauffeur de vapeur a 20 m^2 de surface de chauffe ; il est placé sous le corps tubulaire de la chaudière et peut être facilement mis hors circuit.

Le surchauffeur tubulaire Hering se compose de deux collecteurs et d'une série de serpentins en tubes d'acier à parois très épaisses. Il n'a pas besoin d'être rempli d'eau au début de chaque fonctionnement et, par suite, il ne contient ni boues, ni dépôts calcaires.

Tous ses joints, dont la mise en place est simple et facile, se trouvent hors des carreaux de gaz et chaque serpentin peut être changé sans qu'il soit nécessaire d'arrêter la chaudière.

Le nettoyage extérieur des serpentins se fait en même temps que celui des tubes de la chaudière.

Chaudière sphérique. — La chaudière sphérique, exposée également par la société Fitzner et Gamper, ne rentre pas dans la catégorie des générateurs de vapeur : c'est une lessiveuse pour cuire et décolorer les chiffons ; mais elle est remarquable comme travail de chaudronnerie et nous lui consacrerons quelques lignes (fig. 114).

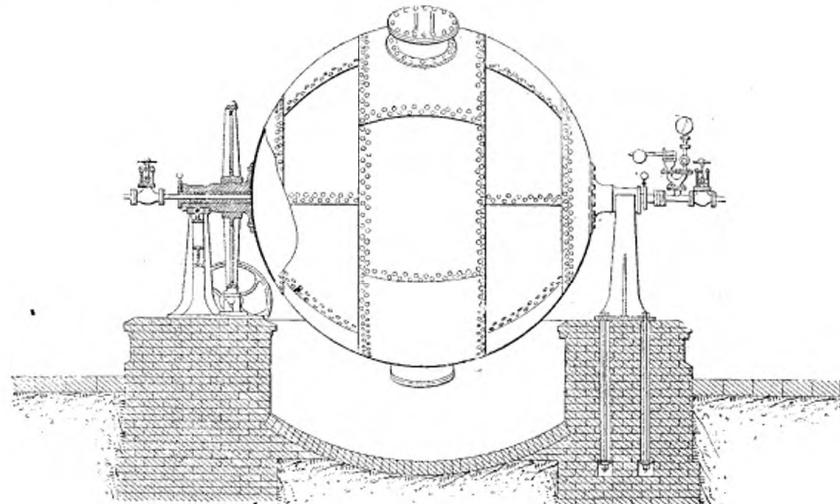


Fig. 114.

Cette chaudière est montée sur paliers et munie d'une commande par roue hélicoïdale et vis sans fin. Elle a $2^{\text{m}},745$ de diamètre intérieur et elle est entièrement soudée en tôle ; les pivots mêmes, soudés dessus, forment un seul corps avec la chaudière, ainsi que les deux trous d'homme superposés.

Malgré l'extrême difficulté du travail, la chaudière est si bien équilibrée que l'effort d'une main appuyée sur la poulie de commande suffit pour mettre en mouvement tout l'appareil.

Cette chaudière, construite pour une pression de marche de 7 atmosphères, est composée de six tôles soudées au marteau ; tout le travail a été fait par un forgeron et deux aides, sans aucun échafaudage ; un palan et un levier leur servaient seuls d'outils de levage. Le chauffage était obtenu à l'aide de foyers mobiles au gaz à l'eau.

Les pivots sont creux, afin de donner accès à la vapeur et aux liquides nécessaires pour le procédé de décoloration. La chaudière est munie de toute sa robinetterie et des appareils de sûreté. Elle constitue un des plus remarquables travaux de chaudronnerie qui aient été exécutés à ce jour.

Les ateliers de chaudronnerie Fitzner et Gamper ont été fondés en 1880 à Sielce, dans la Pologne russe, dans le vaste rayon métallurgique et minier de Dabrowa-Sosnowice, à 2 km. de la frontière allemande et du centre industriel de la Haute-Silésie.

En 1893, la maison a acquis la fonderie et les ateliers mécaniques de Dabrowa. En 1896, elle achète de vastes terrains dans le bassin houiller du Donetz et elle crée la grande usine mécanique de Kramatorskaïa. En 1897 elle se transforme en société anonyme et en 1899 elle met en marche son premier haut fourneau, en achève un second et commence la construction de fours à coke.

L'usine de Sielce construit des chaudières de tous systèmes, des réservoirs, appareils de sucrerie, de raffinerie, de distillerie, etc... Elle possède des ateliers de constructions métalliques et un atelier d'estampage hydraulique pour les fonds de chaudières et autres grosses pièces.

L'usine de Dabrowa sert de succursale à la précédente ; elle lui fournit toutes les pièces en fonte rabotées, dressées, complètement terminées. Elle construit en outre les appareils de sûreté des chaudières, les pièces de machines, les pompes, etc.

L'usine de Kramatorskaïa, créée pour répondre aux besoins de l'industrie minière et métallurgique du Donetz, fabrique les grandes machines à vapeur, les machines soufflantes, trains de laminoirs, etc.. et fournit, par ses hauts fourneaux, les qualités de fonte nécessaires.

Sielce occupe 2 600 ouvriers, Dabrowa 700 et Kramatorskaïa 1 000.

Nous avons cru devoir donner ces quelques renseignements pour fixer les idées sur l'importance de la société des Etablissements Fitzner et Gamper.

Chaudières système Joya.

MM. G. Joya et Cie, constructeurs à Grenoble, exposaient dans la classe 19 un générateur multitubulaire système Joya, de 80 m² de surface de chauffe.

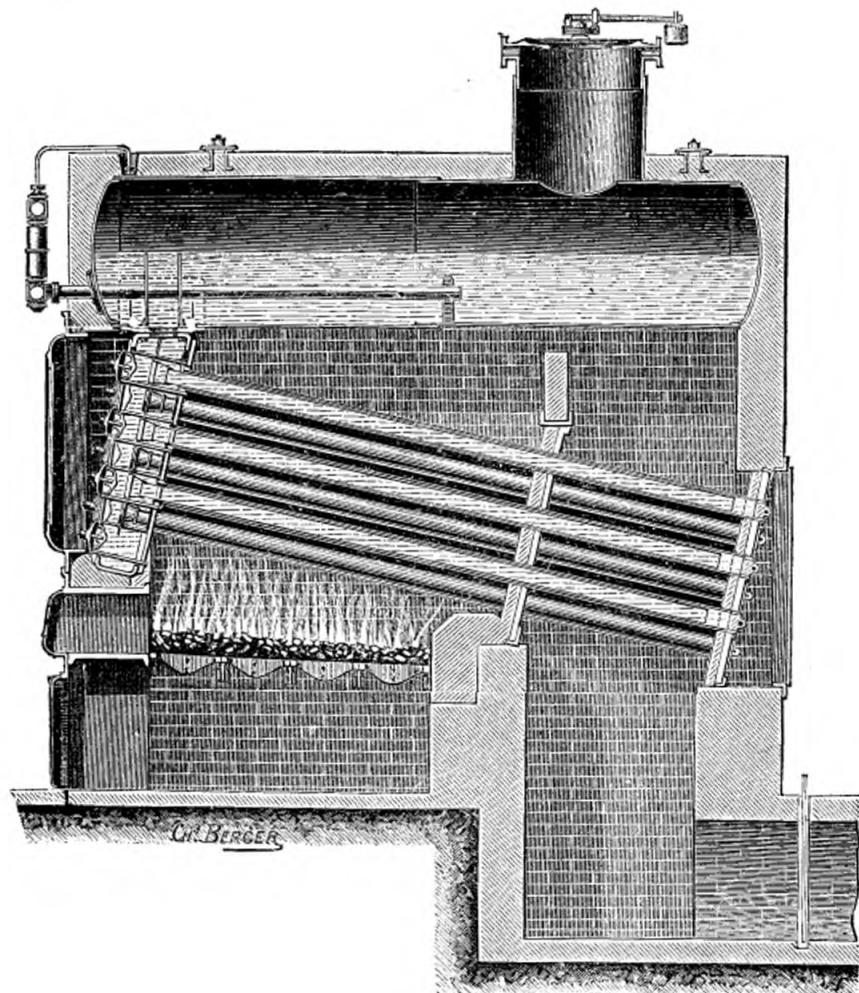


Fig. 115.

Le principe de cette chaudière est de diviser le courant de la flamme, autant que faire se peut, tout en divisant l'eau et en la mettant en contact avec des parois de faible épaisseur, en vue de faciliter l'échange de chaleur (fig. 115 et 116).

Dans les chaudières à grande production de vapeur, il faut faciliter également la circulation de l'eau qui est très rapide; pour obtenir ce résultat, M. Joya a adopté les tubes concentriques à circulation en les inclinant au-dessus de la grille.

Description. — La chaudière se compose : 1^o d'un faisceau tubulaire formant l'appareil élévatoire. Une extrémité des tubes est fermée par un tampon autoclave et l'autre débouche dans des collecteurs rectangulaires divisés en deux compartiments ; un compartiment est en communication avec les tubes extérieurs d'où la vapeur se dégage,

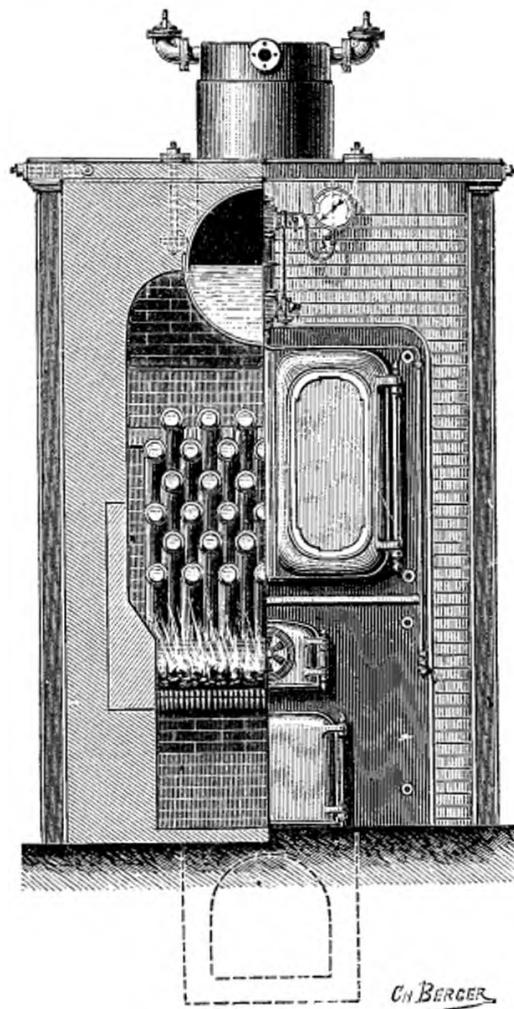


Fig. 116.

l'autre est en communication avec les tubes intérieurs de circulation de l'eau.

2^o De réservoirs cylindriques horizontaux proportionnés à la surface de chauffe de la chaudière et servant de magasin d'eau et de vapeur ; ils portent les accessoires de sûreté : niveau d'eau, soupapes, manomètre, ainsi que la prise de vapeur.

La grille, à barreaux minces, du système Joya, s'étend sous tout le faisceau tubulaire.

Les armatures du fourneau comprennent : une grande façade antérieure portant le gueulard de chargement du foyer et les portes de nettoyage; une façade postérieure avec deux autres portes de nettoyage; quatre montants, colonnes en fonte supportant des poutrelles en fer L, qui supportent elles-mêmes les réservoirs cylindriques d'eau et de vapeur et rendent le montage et la solidité de l'ensemble indépendants des maçonneries. Les maçonneries ne servent plus alors que de remplissage et deviennent peu onéreuses.

La façade avant est protégée du rayonnement du foyer par les collecteurs du faisceau tubulaire, et la façade arrière est protégée par une cloison en briques, de forme spéciale, retenue par des plaques en fonte supportant les tubes à l'arrière.

Le faisceau tubulaire n'étant prisonnier que d'un seul côté, sans aucun boulon ni tirant, chaque tube est indépendant; son extrémité inférieure est abandonnée et la liberté de dilatation de l'ensemble est absolue. Les entraînements d'eau sont évités sans aucun artifice, par la suppression des causes mêmes de ces entraînements. Dans ce but, le réservoir de vapeur a été augmenté dans les plus grandes limites possibles et un large passage est ménagé au passage des bulles de vapeur mélangées à l'eau. Les collecteurs ayant une grande capacité, leur section régulièrement croissante permet aux molécules de monter verticalement sans rencontrer et sans gêner la circulation de celles qui sortent des tubes supérieurs; enfin les tubulures de communication débouchent au-dessus du niveau du liquide, dans le réservoir, et non à la partie inférieure de la masse d'eau.

Nous donnons, *Pl. 32*, les détails de construction et d'assemblage du faisceau tubulaire.

Au point de vue de la facilité des nettoyages et des réparations, il suffit de faire remarquer que les tubes sont démontables, à joints rôdés, et qu'il n'est pas besoin, pour en réparer un, de sortir tout un faisceau.

En face de chaque tube, dans les collecteurs, sont disposés des tampons rôdés comme les tubes, à joint métal contre métal; la pression et le serrage du montage les tiennent en place; à vide, il suffit d'un faible effort pour les enlever et découvrir les tubes qui sont en face.

Le démontage est donc plus facile qu'avec des joints faits à l'amiante, avec des garnitures de mastic, etc., et avec des boulons ou des tirants dont la rupture est toujours à craindre.

Une modification très récente a été faite au système d'alimentation de cette chaudière, par M. Joya.

L'alimentation s'effectue dans un compartiment isolé, placé à l'arrière du corps longitudinal de la chaudière, et un robinet permet l'extraction des boues qui s'y déposent. A la partie supérieure de ce compartiment, un tube de prise d'eau conduit l'eau d'alimentation dans chacun des collecteurs avant, où les tubes viennent aboutir.

Nous avons vu que ces collecteurs avant, ou caisses collectrices, avaient une section croissante de bas en haut pour faciliter le dégagement et la vapeur. La cloison médiane qui les divise est absolument étanche, les courants d'eau descendants et ascendants sont donc bien séparés de la vapeur produite et à son dégagement facilité par des caissettes qui viennent déboucher près du niveau d'eau de la chaudière.

MM. J. Joya et Cie construisent ces générateurs suivant les indications principales contenues dans le tableau ci-dessous.

NUMÉROS	Production de vapeur par heure kil.	Surface de chauffe m ²	Nombre de collecteurs	Tubes de 110 mm			Dimensions de la grille			Dimensions du massif de maçonnerie			POIDS approximatif
				Nombre	Longueur m.	Largeur m.	Longueur m.	Largeur m.	Hauteur m.	Longueur m.	Largeur m.	Hauteur m.	
TYPE A.													
1	400	20	2	32	1.800	1.300	0.620	3.000	1.375	3.690	3.905		
2	600	30	3	48	1.800	1.300	0.940	3.000	1.700	3.690	5.330		
TYPE B.													
1	820	41	3	48	2.500	1.950	0.940	4.100	1.700	3.800	7.000		
2	1.100	55	4	64	2.500	1.950	1.280	4.100	2.040	3.800	8.425		
3	1.380	68	5	80	2.500	1.950	1.600	4.100	2.360	3.800	9.850		
4	1.640	82	6	96	2.500	1.950	1.920	4.100	2.680	3.800	11.275		
5	1.900	95	7	112	2.500	1.950	2.240	4.100	3.000	3.900	12.700		
6	2.180	109	8	128	2.500	1.950	2.560	4.100	3.320	3.900	14.125		
7	2.460	123	9	144	2.500	1.950	2.880	4.100	3.640	3.900	15.550		
TYPE C.													
1	870	58	3	42	4.000	1.950	0.940	4.650	1.700	3.750	7.000		
2	1.230	82	4	56	4.000	1.950	1.280	4.650	2.040	3.750	8.500		
3	1.440	96	5	70	4.000	1.950	1.600	4.650	2.360	3.750	10.000		
4	1.650	110	5	80	4.000	2.150	1.600	4.700	2.360	3.900	11.500		
5	1.980	132	7	96	4.000	2.150	1.920	4.700	2.680	3.900	12.500		
6	2.325	150	6	112	4.000	2.150	2.240	4.700	3.000	3.900	14.500		

Générateur oléothermique, système Mahl et de Nittis.

MM. Mahl et de Nittis présentaient dans la classe 19 les dessins d'un générateur oléothermique de leur système, créé en vue d'obtenir de la vapeur à toutes pressions, sans avoir à redouter que les éléments les plus exposés à l'intensité du feu puissent accidentellement se détériorer (fig. 117 à 121).

Le liquide circulant dans ces éléments ne pouvait être de l'eau; elle formerait, à toutes variations de la pression, des vapeurs qui favoriseraient les altérations des tubes. On a choisi l'huile minérale, susceptible déjà d'être chauffée au delà de 300° à l'air libre sans ébullition et, dans le cas où on doit lui faire dépasser cette température, capable de rester entièrement à l'état liquide, grâce à une tension légère et invariable de vapeur d'eau qu'on établit à sa surface.

Cette huile venant se chauffer dans le voisinage du foyer, monte se refroidir au contact de tubes placés dans le réservoir supérieur d'expansion et fréquentés intérieurement par l'eau du réservoir du générateur; elle redescend se chauffer à nouveau en effectuant toujours le même trajet pour véhiculer la chaleur.

La vapeur ainsi formée au contact du bain d'huile en circulation, accomplit, pour s'émettre, un faible déplacement vertical, ce qui favorise son état anhydre.

Les gaz de la combustion épuisent ensuite leur température au contact des tubes à eau remplissant l'office de vaporiseurs; puis ils parcourront, en trois phases, un économiseur disposé à l'arrière.

Les éléments à huile et à eau sont semblables; pour diminuer les chances de fuites, chaque élément est constitué par un groupe de tubes ayant une libre dilatation. On les emboîte par l'avant où s'établit, au moyen des deux chambres des collecteurs verticaux, une circulation de liquide froid, par le tube central de chaque élément, et de liquide chaud par les tubes de diamètre plus faible de la périphérie.

Des joints souples, métal et amiante, ont donné toute satisfaction comme étanchéité.

Si on considère les diagrammes donnés par les expériences faites à différentes allures, la température du bain d'huile atteignant environ 300° et la température de l'eau correspondant à la pression étant de 200°, on voit cet écart de 100° se maintenir même quand la combustion dépasse 300 kg. de charbon par mètre carré de surface de grille.

En toutes circonstances, la fixité de l'huile s'est maintenue; il n'a

*Appareil d'expérience du Générateur oléothermique
Chauffage indirect.
l'élément tubulaire vaporise
directement l'eau.*

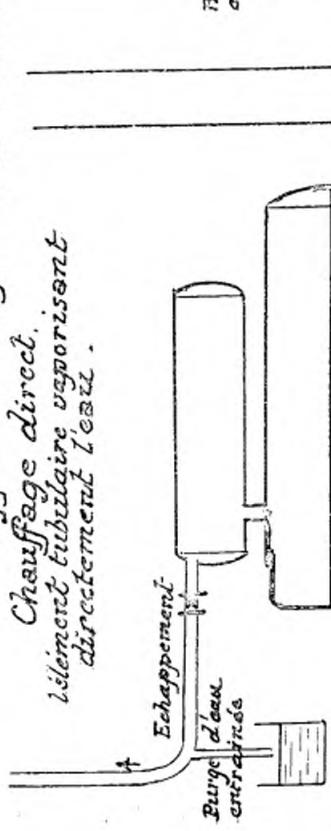


Figure 1

*Appareil d'expérience du Générateur oléothermique
Chauffage indirect.
la vaporisation produite par l'huile
circulant dans le réservoir supérieur.*

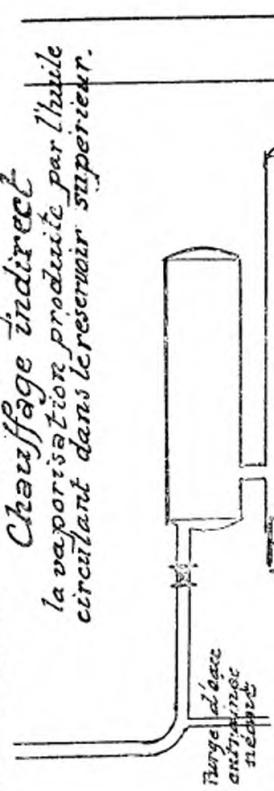


Figure 2

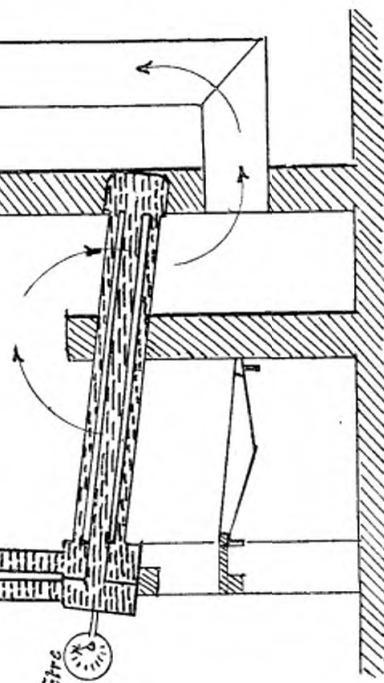


Fig. 417.



Coupe en élévation suivant CD.

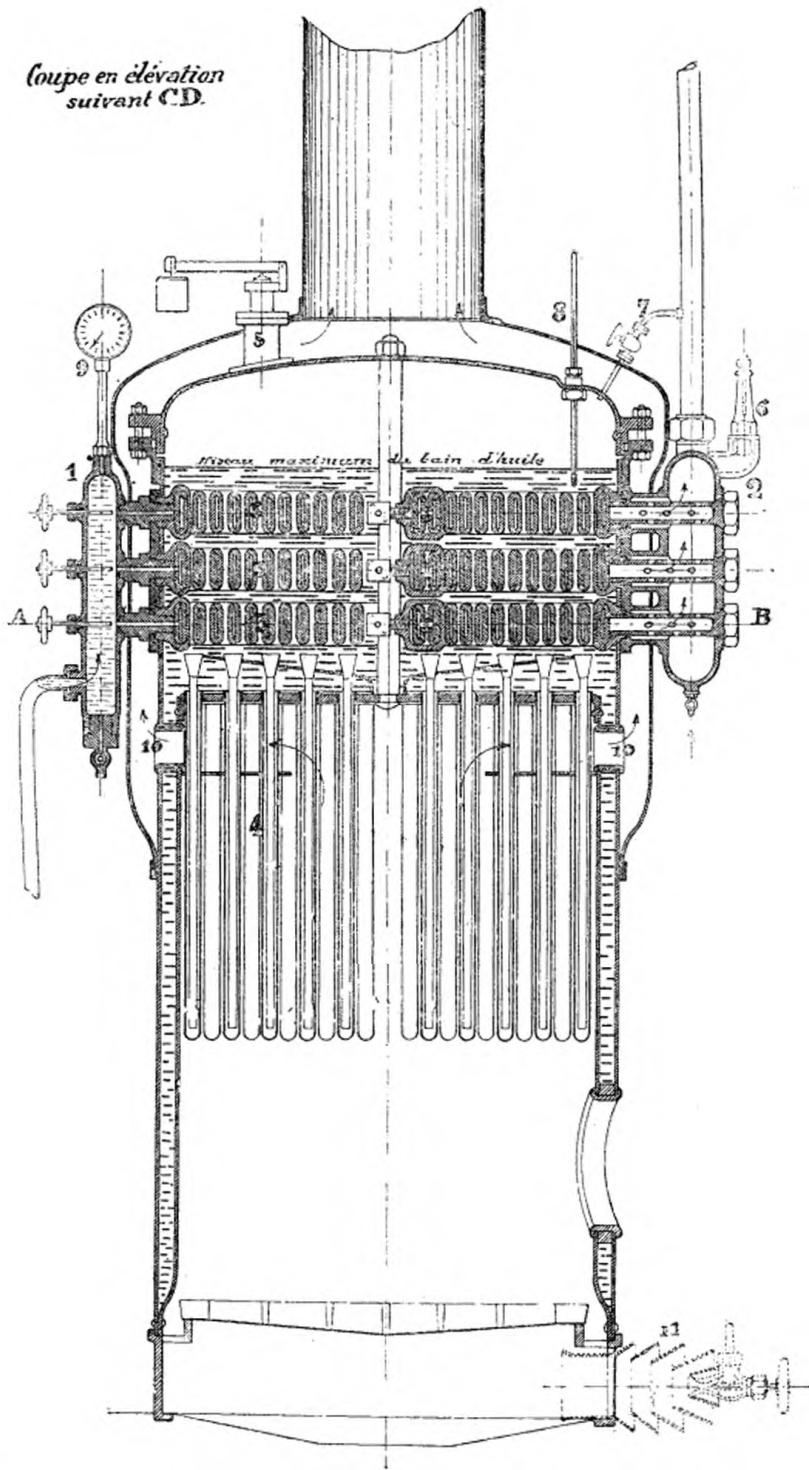


Fig. 148.

1. Bouteille d'injection de l'eau. — 2. Bouteille de sortie de vapeur. — 3. Serpentins vaporisateurs. — 4. Chauffeurs d'huile on tubes Field. — 5. Soupape de la chambre à huile (1 kilog.). — 6. Soupape de la vapeur (200 kilog.). — 7. Robinet pour tension de vapeur de 1 kilog. au maximum sur l'huile. — 8. Thermomètre. — 9. Manomètre à 200 kilog. — 10. Events et gaine de fumée. — 11. Brûleur pour le chauffage au pétrole préalablement injecté et vaporisé dans le bain d'huile à 500° de la chaudière.

jamais été nécessaire de remplacer ou d'ajouter le bain. La vapeur, à l'état absolument anhydre, a été produite dans les conditions les plus économiques ; la température du foyer étant de 1 200°, celle des gaz à la cheminée atteignait en moyenne 190° ; la chaleur perdue était donc de moins de 16 0/0.

Le fonctionnement de cet appareil s'est prêté à toutes les variations d'activité ; un thermomètre, placé en vue du chauffeur, lui permettait de suivre sans inquiétude la température du bain d'huile. La mise en pression se fait avec une très grande rapidité, bien que l'huile soit épaisse, elle acquiert, vers 30°, une extrême fluidité ; de plus, elle ne forme aucun dépôt. Enfin, la dilation libre des éléments forme, au point de vue des déformations, le meilleur gage de sécurité.

Générateur à très haute pression. — L'état de parallélisme entre les températures de l'huile et de l'eau étant bien démontré et la possibilité de retarder le point d'ébullition du bain d'huile avec une légère tension de vapeur d'eau à sa surface étant établie, MM. Mähl et de Nittis ont songé à tirer parti de ces phénomènes pour obtenir de très hautes pressions.

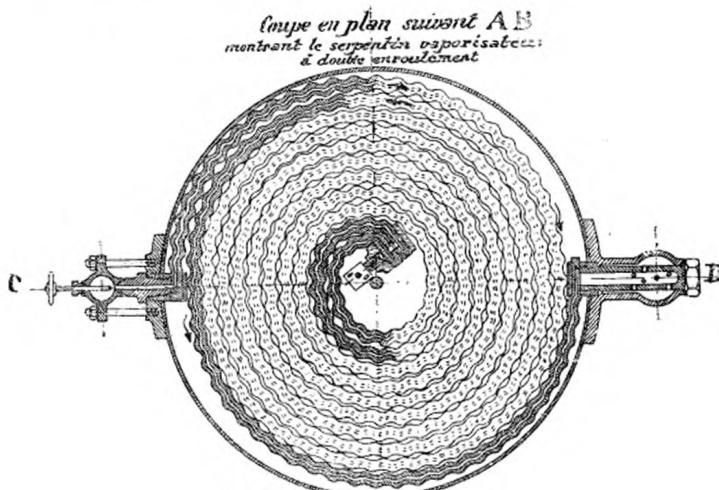


Fig. 419.

Les avis sont partagés sur la question du danger que présente la circulation de la vapeur dans les générateurs marchant à une certaine allure ; mais on est d'accord dès qu'on songe à faire fonctionner une chaudière sous une pression supérieure à 20 kg. ; on éprouve un senti-

ment d'inquiétude indicible quand on songe à la gravité des accidents qui peuvent se produire.

Aussi les tentatives faites jusqu'à ce jour pour résoudre le problème de la vapeur à haute pression n'ont-elles donné que peu de résultats. Les bouilleurs de diamètres assez grands avaient besoin d'épaisseurs considérables, non seulement pour résister à la pression, mais encore pour faire face aux éventualités de phénomènes de caléfaction; les appareils devenaient alors de dimensions impraticables et les tubes se trouvaient bien vite altérés par l'action du feu. Quant aux tubes de sections diverses pour la vaporisation instantanée, le principe même de l'absence presque complète de liquide ne permettait guère leur adoption définitive.

L'appareil établi par MM. Mähl et de Nittis pour la haute pression, a une surface de chauffe quelconque, pour le bain d'huile; elle correspond à la surface des tubes plats en sinusoïde. Les tubes contenant l'huile à chauffer peuvent être aussi minces que possible et les tubes en sinusoïde qui ne sont altérés par aucun agent extérieur, peuvent n'avoir comme épaisseur que celle utile à leur résistance. On obtient donc pour l'ensemble un poids de tubes relativement faible sans avoir d'altération à redouter.

*Coupe en plan
du serpentin
d' $\frac{1}{2}$ grandeur.*

*Coupe verticale
du serpentin
vaporisateur*



Fig. 420.



Fig. 421.

Le tube vaporisateur est à double enroulement avec jonction au centre; l'une des extrémités donne accès à l'eau provenant d'une bouteille d'injection; à l'autre extrémité, la vapeur se dégage et se rend dans un collecteur. Le bain d'huile reçoit ainsi sur toute la surface une égale action de refroidissement et l'effet graduel de la chaleur sur l'eau injectée diminue l'écart de 100° entre la température du bain d'huile et celle de la vapeur à former.

Avec un bain d'huile à 315°, on produit de la vapeur à 50 kg. de pression, c'est-à-dire à la température de 265°, absolument incolore au jet.

Alors même que l'écart de 100° serait nécessaire, il est possible avec un bain d'huile à 500°, qu'on obtient facilement, d'avoir 400° à la vaporisation de l'eau et de produire ainsi, dans des conditions de température assurant aux parois un maintien convenable de la résistance, de la vapeur à 200 kg. de pression, dépassant de 30° son point critique.

La configuration du tube plat en forme sinusoïdale lui donne, par sa décomposition en éléments circulaires, son maximum de résistance.

Le bain d'huile constitue une réserve importante de chaleur qui permet une variation proportionnelle à la dépense, en assurant à la vapeur un degré de saturation ou de surchauffe dont on reste absolument maître.

Le tube vaporisateur conserve toujours, du côté de l'huile, un parfait état de propreté; on évite l'obstruction de la fente de circulation de l'eau par les dépôts calcaires, en effectuant des lavages fréquents et très faciles au moyen de l'eau acidulée. Enfin, des essais hydrauliques avec une grande surpression sont faits avec la pompe même d'alimentation du générateur pour donner toute sécurité au point de vue de la résistance.

Chaudières système Mathian.

M. Mathian, constructeur à Paris, présentait, dans la classe 19, une chaudière verticale à tube Field et à flamme renversée (fig. 122).

Dans cette chaudière, les flammes et les gaz de la combustion circulent entre les tubes et redescendent autour du foyer en léchant une série de tubes longs qui les refroidissent à la température nécessaire et suffisante pour obtenir un bon tirage; ils arrivent ensuite sous le cendrier où ils trouvent une sortie pour rejoindre la cheminée. Les gaz s'échappent ainsi à 200° environ, tandis que dans la chaudière Field à flamme directe, cette température peut atteindre 600° à la base de la cheminée placée à la partie supérieure de l'appareil.

La chaudière Mathian présente donc à ce point de vue, de réels avantages. Son rendement se trouve amélioré par suite d'une meilleure utilisation du calorique; le réservoir de vapeur est relativement grand, ce qui évite les entraînements d'eau considérables; les surfaces de grilles sont réduites et la production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe est élevée. Enfin, les foyers étant très petits et les

flammes bien dirigées, les tubes ne sont guère exposés aux coups de feu et sont assurés d'une longue durée.

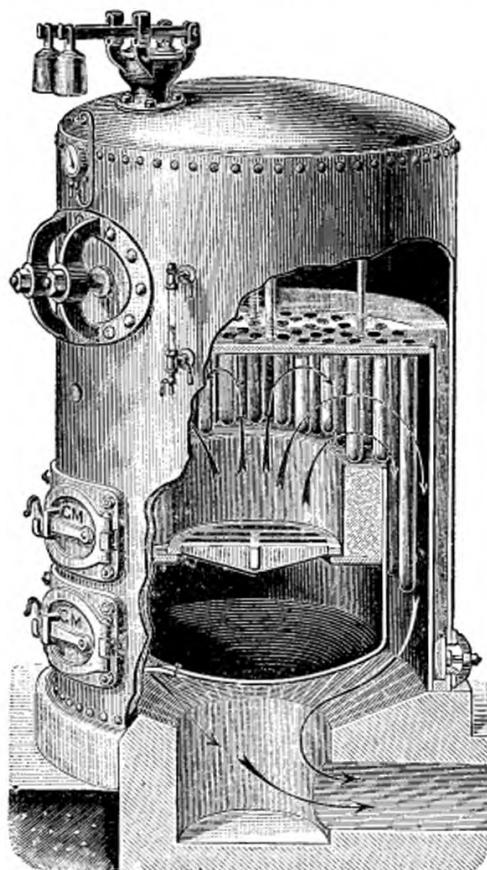


Fig. 122

La construction de ces chaudières est particulièrement soignée ; on n'emploie que des tôles d'acier de première qualité de manière à obtenir pour le générateur lui-même toute garantie de solidité et de sécurité.

Chaudières Montupet, type Field.

M. Montupet, constructeur à Paris, dont nous avons examiné les générateurs en fonctionnement dans un précédent chapitre, exposait à la classe 19, une chaudière de 13 chevaux, du type Field, qui a fait l'objet d'une communication spéciale au congrès de mécanique appliquée.

Après avoir rappelé que les chaudières à petits éléments, formés avec des tubes vaporisateurs à circulation intérieure, ont pris depuis quelques années un grand développement en France, M. Montupet s'exprime de la façon suivante au sujet de la chaudière Field :

« La chaudière verticale à tubes Field est très répandue dans la petite et la moyenne industrie française, parce qu'elle est plus économique et d'un entretien plus facile que la chaudière à bouilleurs croisés ou que la chaudière tubulaire ordinaire verticale ; en cas de manque d'eau, l'accident se borne au remplacement des tubes brûlés.

Nous avons voulu savoir s'il était possible d'améliorer son rendement économique, en activant la circulation de l'eau.

Si l'on examine un appareil de démonstration formé d'un réservoir supérieur et d'un tube Field, et qu'on le soumette à un chauffage plus ou moins énergique, on constate qu'il s'établit une circulation dès le commencement de la chauffe, que l'eau chaude s'élève entre les deux tubes et qu'elle est remplacée par celle du réservoir supérieur qui descend par le tube intérieur (fig. 123).

Lorsque l'eau commence à se vaporiser, la vapeur produite au fond du tube s'élève d'abord verticalement, et vient s'opposer à la descente de l'eau par le tube intérieur ; puis elle est entraînée par le courant et elle se dégage avec celle produite sur les parois verticales du tube.

La vapeur produite au fond du tube a une telle influence sur le courant d'eau qui descend par le tube intérieur, que dans certains cas, elle a une force ascensionnelle supérieure à la dépression qui y existe et qu'elle s'échappe par ce tube.

C'est ainsi que nous avons vu construire des chaudières avec des tubes bouilleurs analogues aux tubes Field, mais dont le tube intérieur était prolongé jusqu'au-dessus du niveau de l'eau.

L'orifice supérieur du tube de descente d'eau étant placé au milieu de la couronne d'eau et de vapeur qui se dégage du tube bouilleur, on voit très nettement l'eau et les bulles de vapeur de cette couronne descendre par le tube de circulation, et ces bulles de vapeur s'opposer à la descente de l'eau et en diminuer la vitesse.

On a donc ainsi dans les tubes Field deux causes bien distinctes qui viennent s'opposer à la circulation de l'eau et diminuer la vaporisation.

Or, le rendement d'une chaudière est d'autant plus élevé que la vitesse de circulation de l'eau est plus grande et qu'elle revient plus de fois en contact avec les parois chauffées.

Lorsqu'une bulle de vapeur se forme au fond d'un tube Field dans

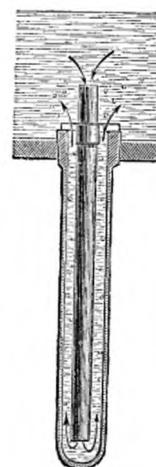


Fig. 123.

une partie non comprise dans le courant de circulation, cette bulle de vapeur isole le métal de l'eau; elle ne se détache de ce métal et ne s'élève que lorsque sa force élastique est suffisante pour qu'elle puisse traverser la masse d'eau placée au-dessus d'elle.

Elle reste donc en contact avec le métal et elle est chauffée tout le temps qui lui est nécessaire pour l'augmentation de son volume et de sa force élastique, et comme cette vapeur est un corps mauvais conducteur de la chaleur, elle s'oppose à la transmission de la chaleur du foyer ou du métal à l'eau.

En se dégageant, cette bulle surchauffée et dilatée, n'a aucune adhérence avec l'eau et en la traversant, elle ne produit qu'un déplacement latéral, sans aucun entraînement appréciable de cette eau. La vaporisation se fait par remplacement.

Au contraire, dans les parties où il existe une vive circulation de l'eau, les bulles de vapeur à l'état vésiculaire sont entraînées par l'eau en mouvement, aussitôt qu'elles sont formées, et elles sont remplacées d'une manière continue par d'autres qui les suivent dans le courant d'eau tant que le métal est suffisamment chauffé.

L'eau, qui est un corps bon conducteur de la chaleur, mouille ainsi constamment les parois chauffées tout en entraînant les bulles de vapeur produites, de sorte qu'il y a une transmission beaucoup plus rapide et meilleure de la chaleur du foyer à l'eau à vaporiser, sans aucune surchauffe du métal ni de la vapeur, puisque la production des bulles de vapeur est d'autant plus grande ou moins grande que la chaleur du foyer est plus ou moins élevée.

Les bulles de vapeur produites dans ces conditions se mélangent intimement à l'eau au fur et à mesure de leur formation et l'on obtient un fluide dont la densité est très sensiblement inférieure à celle de l'eau de la chaudière, fluide qui se meut d'autant plus rapidement que sa densité est plus légère, c'est-à-dire qu'il y a plus de bulles de vapeur en suspension, ou que la vaporisation est plus grande.

Pour obtenir une circulation normale dans le tube Field, nous avons placé à la partie inférieure du tube de circulation un écran incliné qui utilise la vapeur produite au fond du tube bouilleur pour y créer une circulation d'eau (fig. 424).

Dans ces conditions, la vitesse de l'eau qui se dégage entre les deux tubes est proportionnelle aux différences qui existent entre les densités de la colonne de dégagement, et de celle de retour; elle est donnée par la formule $V = \sqrt{2gh}$.

Il y a donc intérêt à bien séparer les deux colonnes fluides et à donner la plus grande hauteur possible à la colonne de dégagement; c'est pour appliquer ces indications théoriques que nous avons prolongé notre tube et fait déboucher la prise d'eau sur le côté, aussi près que possible de la plaque tubulaire.

Nous avons voulu nous rendre compte des résultats donnés par ces modifications, et nous avons construit une chaudière Field spéciale de 10 m^2 de sur-

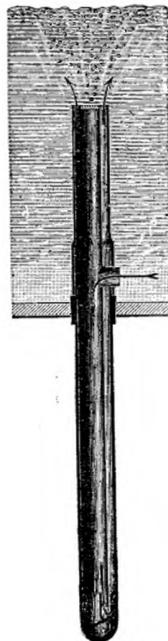


Fig. 124.

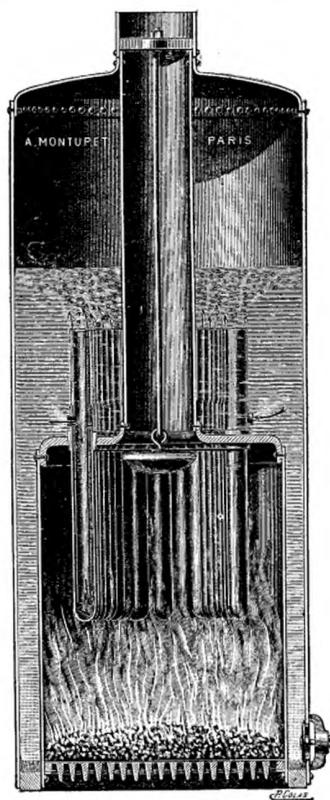


Fig. 125.

face de chauffe, avec laquelle nous avons fait de nombreux essais à différentes allures de combustion (fig. 125).

La surface de chauffe totale comprend :

La surface du foyer.	$3^{m}25$	$\left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ m}^2 \\ 6^{m}75 \end{array} \right.$
La surface des tubes	$6^{m}75$	

La surface de la grille est de $0^{m^2},43$.

Les combustions dans le foyer ont été de :

30 kg. par heure ou	70 kg. par mètre carré		
40	—	93	—
50	—	116	—
60	—	140	—

Vaporisation, avec tubes Field ordinaires :

Charbon 30 kg.	Eau vaporisée 165 kg., soit 5,50 par kilo de charbon		
— 40 »	— 205 » — 5,10	—	
— 50 »	— 230 » — 4,60	—	
— 60 »	— 245 » — 4,10	—	

Vaporisation, avec tubes nouveaux :

Charbon 30 kg.	Eau vaporisée 170 kg., soit 5,66 par kilo de charbon		
— 40 »	— 260 » — 6,50	—	
— 50 »	— 330 » — 6,60	—	
— 60 »	— 360 » — 6,00	—	

Si l'on considère que ces augmentations ont été obtenues seulement par la plus grande circulation de l'eau dans les tubes, et si l'on déduit des vaporisations totales les vaporisations moyennes du foyer de $3^{m^2},25$ de surface (avec tubes Field ordinaires), aux combustions correspondantes, on trouve :

$$\begin{aligned} \text{à } 40 \text{ kg.} & 260 - (3,25 \times 20,5 \text{ ou } 67) = 193 \\ \text{à } 50 \text{ kg.} & 330 - (3,25 \times 23 \text{ ou } 75) = 255 \\ \text{à } 60 \text{ kg.} & 360 - (3,25 \times 24,5 \text{ ou } 80) = 280 \end{aligned}$$

ce qui donne par mètre carré de surface tubulaire :

$$\frac{193}{6,75} = 28,6$$

$$\frac{255}{6,75} = 37,6$$

$$\frac{280}{6,75} = 41$$

alors que les vaporisations, avec tubes Field ordinaires, étaient de 20,5, 23 et 24,5.

L'augmentation de puissance obtenue, en modifiant simplement les tubes de circulation, a donc été de 40, 55 et 60 %, tout en donnant une économie de combustible de 10 à 20 % sur la marche la plus économique.

Avant de commencer nos essais et de construire notre chaudière spéciale, nous avions pensé que l'établissement de la circulation autour du foyer devait donner également de bons résultats, et à cet effet, nous avons fait notre chaudière démontable, de manière à pouvoir visiter facilement nos tubes et pouvoir également monter et démonter une enveloppe en tôle, entre la tôle du foyer et la tôle extérieure.

Des essais de vaporisation avec cette enveloppe ont été faits, avec des tubes Field ordinaires ; ils ont donné les résultats suivants :

40 kg. de charbon : vaporisation 235 litres d'eau				
50	—	—	260	—
60	—	—	290	

alors que les vaporisations sans enveloppe étaient de 205, 230 et 245 litres.

Si des vaporisations totales obtenues avec l'enveloppe, on déduit les vaporisations moyennes du faisceau des tubes Field ordinaires de $6,75^2,75$ de surface, aux combustions correspondantes, on trouve :

$$\begin{aligned} \text{à } 40 \text{ kg.} & 235 - (6,75 \times 20,5 \text{ ou } 138) = 97 \\ \text{à } 50 \text{ "} & 260 - (6,75 \times 23 \text{ ou } 155) = 115 \\ \text{à } 60 \text{ "} & 290 - (6,75 \times 24,5 \text{ ou } 165) = 125 \end{aligned}$$

ce qui donne, par mètre carré de surface du foyer :

$$\frac{97}{3,35} = 30 \text{ kg.}$$

$$\frac{115}{3,25} = 35,1$$

$$\frac{125}{3,25} = 38,50$$

alors que les vaporisations avec le foyer sans enveloppe étaient de 20,5, 23 et 25.

L'augmentation de vaporisation de la surface de chauffe du foyer a donc été de 50 % environ dans les trois cas.

Les essais nous ont fait constater qu'il était nécessaire d'avoir une colonne ascensionnelle d'eau et de vapeur de section constante et bien séparée de la colonne de retour.

Ces essais nous ont encore montré les résultats considérables que peut donner l'établissement d'une circulation rationnelle de l'eau autour des foyers intérieurs des chaudières verticales, des locomobiles et des locomotives, et nous indiquons ci-contre (voir fig. 126) les dispositions à adopter, dispositions dans lesquelles les colonnes ascensionnelles doivent être fermées sur leurs côtés et isolées les unes des autres.

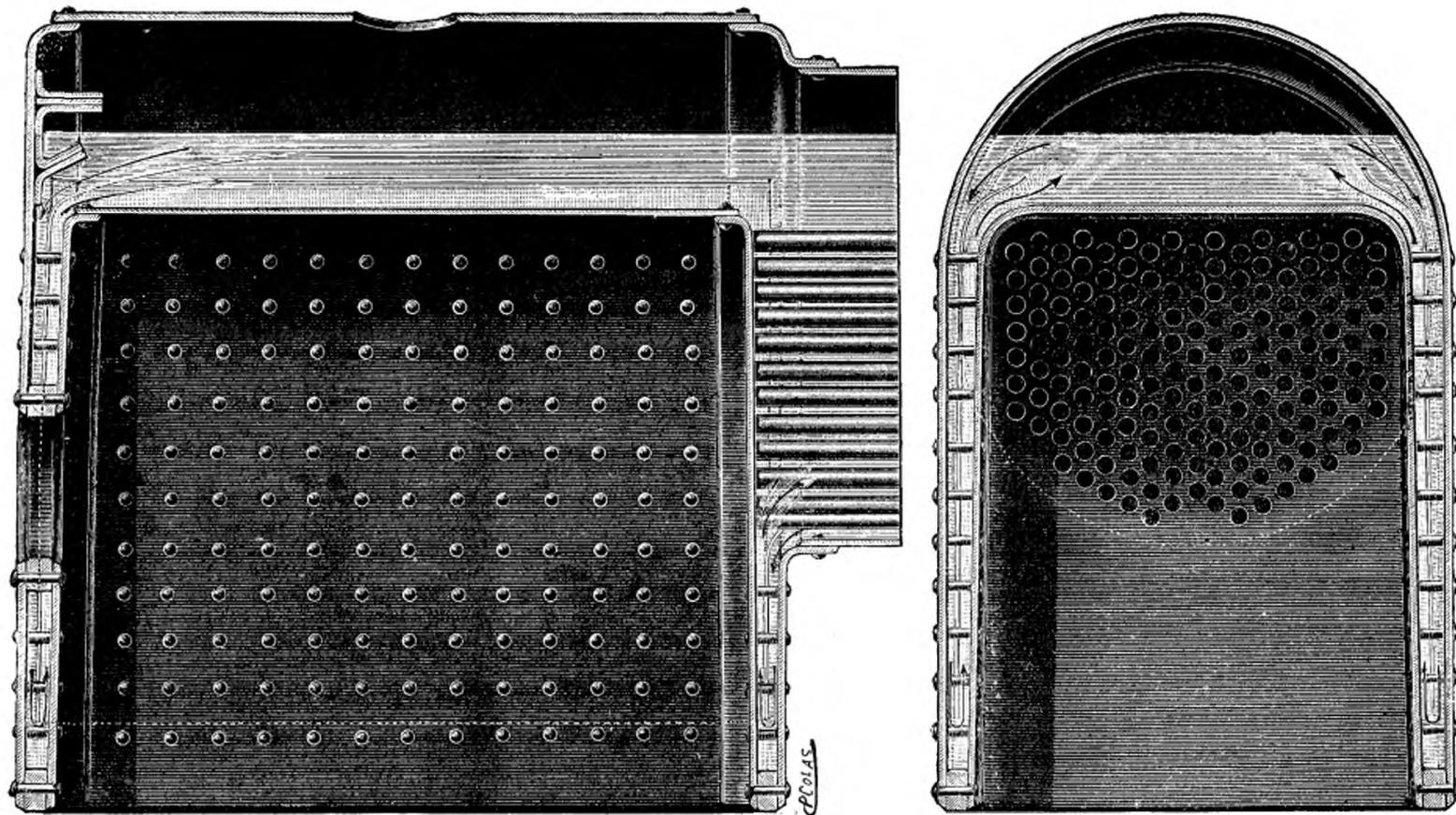


Fig. 126.

Il est alors facile d'utiliser la colonne ascensionnelle d'avant pour laver le ciel du foyer et empêcher les dépôts boueux et calcaires de s'y former.

Les vaporisations que nous avons indiquées pourraient faire craindre des entraînements d'eau; mais il n'en est rien. La vapeur, en effet, se trouve en suspension dans l'eau à l'état vésiculaire et sans être surchauffée, toutes les bulles sont en mélange intime avec l'eau et elles ne peuvent se dégager que lorsque le courant les a amenées à la surface du plan d'eau et qu'il n'existe plus de pression d'eau sur elles.

Elles se séparent alors naturellement de l'eau, sans produire les projections, soulèvements et entraînements qui accompagnent le dégagement des bulles de vapeur surchauffées contre le métal lorsqu'il n'existe pas de circulation.

La circulation de l'eau présente encore une particularité très intéressante et de la plus grande importance. Cette circulation est due aux dépressions que nous provoquons par le dégagement des fluides, eau et vapeur, de densité légère (dans des colonnes ascensionnelles les plus hautes possibles), et ces dépressions sont ordinairement de quelques centimètres.

Lorsque l'orifice d'une colonne est découvert par l'abaissement du plan d'eau, il se produit aussitôt une perte de charge qui vient contrebalancer l'effet de la dépression de la colonne ascensionnelle motrice et réduire la vitesse de circulation, laquelle diminue de plus en plus avec l'abaissement du niveau de l'eau jusqu'à l'arrêt complet, lorsque la hauteur de la perte de charge est égale à la dépression de la colonne motrice.

Nous utilisons ces faits pour prévenir un manque d'eau qui viendrait à se produire dans la chaudière. »

La chaudière Field, exposée par M. Montupet dans la classe 19, a 10 m² de surface de chauffe (voir *Pl. 18*); elle vaporise en marche normale économique 250 kg. de vapeur à l'heure, avec une colonne ascensionnelle de 0,300 créant une dépression de 70 mm.

Dès que l'orifice de la colonne ascensionnelle sera découvert, lors d'un manque d'eau, la vaporisation intensive à 26 kg. par mètre carré commencera à diminuer pour s'arrêter à la vaporisation ordinaire de 16 kg. par mètre carré, lorsque le niveau de l'eau sera arrivé au niveau minimum et descendu à 70 mm. au-dessous de l'orifice de la colonne, et cela sans crainte aucune, parce que la vaporisation se fera sans circulation, comme dans les chaudières ordinaires.

La production de vapeur diminuant ainsi dans une forte proportion, et les appareils alimentés de vapeur par la chaudière continuant à dépenser la même quantité de vapeur, il se produira dans ces appareils une diminution de vitesse ou de rendement qui montrera la situation anormale de la chaudière.

Chaudières système Niclausse.

Nous avons examiné dans le chapitre des générateurs en fonctionnement, la chaudière du système Niclausse, type terre, et nous avons donné les plans d'installation des deux batteries de 21 chaudières qui ont fonctionné aux usines Suffren et La Bourdonnais pendant toute la durée de l'Exposition.

Malgré l'importance de cette installation d'ensemble, une des plus considérables du service de la force motrice pour le nombre de générateurs et la quantité de vapeur produite à l'heure, MM. J. et A. Niclausse n'ont pas hésité à exposer dans différentes classes 18 autres générateurs de modèles adaptés aux genres d'industrie correspondants et destinés, en particulier, à la marine ; de sorte que la totalité des appareils répartis dans les Palais atteignait 39 unités.

Ce chiffre est assez éloquent par lui-même pour que nous nous dispensions d'insister sur l'importance de l'exposition complète de la maison Niclausse et sur le rang qu'elle occupe parmi les maisons de construction françaises et étrangères.

Avant d'aborder l'examen des types spéciaux, marine et autres, créés par MM. J. et A. Niclausse, concurremment avec le modèle que nous avons déjà présenté, nous résumerons brièvement les appareils qui ont été exposés à l'état inerte.

CLASSE 19. (*Machines à vapeur*). — Une chaudière type 6 E, de $2^{m^2},22$ de surface de grille, 72 m^2 de surface de chauffe, capable de produire 1300 à 1700 kg. de vapeur à l'heure.

Une chaudière type 6 D, de 2 m^2 de surface de grille et $68^{m^2},16$ de surface de chauffe ; production : 1100 à 1300 kg. de vapeur.

Une chaudière type 4 H, de $0^{m^2},49$ de surface de grille et $29^{m^2},66$ de surface de chauffe ; capacité productive : 300 à 650 kg. de vapeur.

Une chaudière type transportable, ou de canot, de $0^{m^2},53$ de surface de grille et $14^{m^2},69$ de surface de chauffe ; capacité productive : 300 kg. de vapeur.

CLASSE 32. (*Matériel de chemin de fer et tramways*). — Une chaudière de tramway, destinée à une voiture de la Compagnie générale des omnibus, de $0^{m^2},51$ de surface de grille et $13^{m^2},35$ de surface de chauffe : capacité productive : 400 kg. de vapeur.

Une chaudière de 6 chevaux pour voiture automobile.

CLASSE 33. (*Matériel de la navigation de commerce*). — Deux chaudières destinées au paquebot « Morbihan », de la Compagnie générale Transatlantique.

CLASSE 74. (*Chauffage et ventilation*). — Une chaudière, type 3 H, destinée au chauffage des habitations. Surface de grille $0^{m^2},72$; surface de chauffe $22^{m^2},50$; capacité productive : 400 à 500 kg. de vapeur.

CLASSE 118. (*Génie maritime*). — Un groupe du croiseur cuirassé « Kléber » comprenant une surface de grille de $24^{m^2},06$, une surface de chauffe de $779^{m^2},04$, pour une puissance de 4000 chevaux : la puissance totale du navire sera de 18000 chevaux.

Un groupe du croiseur cuirassé « Condé » comprenant une surface de grille de $23^{m^2},10$ et une surface de chauffe de $759^{m^2},42$, pour une puissance de 4000 chevaux : la puissance totale de ce navire atteindra 20500 chevaux.

Chaudières Nielausse type marine.

Nous ne reviendrons pas, à propos du type marine, sur la description que nous avons donnée d'autre part. Le faisceau tubulaire, semblable à celui du type de terre, 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 composés comme pour les types fixes.

Nous examinerons maintenant de quelle façon les générateurs Nielausse remplissent les différentes conditions indispensables aux chaudières destinées à des navires de guerre, en un mot, quelle est leur aptitude pour assurer les qualités militaires de ces appareils spéciaux.

Sécurité. — Les chaudières Nielausse sont très robustes et peuvent résister, sans inconvenient, aux plus hautes combustions. Un essai a été effectué sur un générateur du type torpilleur, pendant une

durée de dix heures, à une combustion de 400 kg. de charbon par mètre carré de surface de grille, sans qu'il se soit produit le plus petit incident au faisceau tubulaire, ni le moindre cingrage. Il n'y a ni joints, ni rivets, ni filetages exposés aux flammes, les récepteurs de vapeur se trouvent tout à fait en dehors.

Nous avons vu la facilité avec laquelle les tubes pouvaient se dilater, ce qui évite une des principales causes d'avaries des générateurs.

M. Bertin, Directeur des constructions navales, s'exprime ainsi, dans son ouvrage sur les chaudières marines, à propos des tubes Niclausse :

« La facilité avec laquelle les tubes peuvent se dilater indépendamment les uns des autres sans fatiguer aucun joint, a permis d'adopter, pour leur jonction sur la lame de tête, une disposition très simple rendant les démontages très faciles.

Démontage et nettoyage. — Chaque tube peut se démonter isolément et le remplacement de l'un de ces organes n'exige pas plus de deux minutes ; dans ces conditions, le nettoyage est facile ; il suffit d'établir un roulement de visite de façon que chaque faisceau tubulaire soit démonté à des périodes déterminées suivant la nature des eaux.

Il résulte des expériences faites sur un croiseur français, qu'il suffit de visiter à fond chaque chaudière une fois par an ; dans cet intervalle, des visites sommaires sont suffisantes pour entretenir l'état de propreté des générateurs.

A la Compagnie des Bateaux-Parisiens, on possède un jeu de tubes de rechange pour les 35 chaudières en service et on peut ainsi visiter rapidement, à tour de rôle, chaque faisceau tubulaire, sans immobiliser la chaudière plus de quelques heures.

En outre, la grande rapidité de démontage d'un tube permet, pendant un court arrêt de la chaudière, d'en sortir 3 ou 4 à des hauteurs différentes du faisceau et de se rendre compte de la nécessité d'une visite complète.

Sur le « Menhir », remorqueur du port de Brest, les chaudières ont fonctionné pendant plus de 13 000 heures jusqu'au moment de la première visite et les tubes ont été enlevés sans aucune résistance.

Les facilités de réparation sont la conséquence des facilités de visite et de démontage. Une chaudière du « Téméraire » étant en plein fonctionnement à une combustion de 400 kg. de charbon par mètre carré de grille, on a mis bas les feux, vidé la chaudière, changé, pour exercice, tous les tubes de la rangée inférieure, fait le plein et remis en

pression, le tout en 40 minutes. Sur la canonnière anglaise le « Seagull », la même expérience a duré 35 minutes.

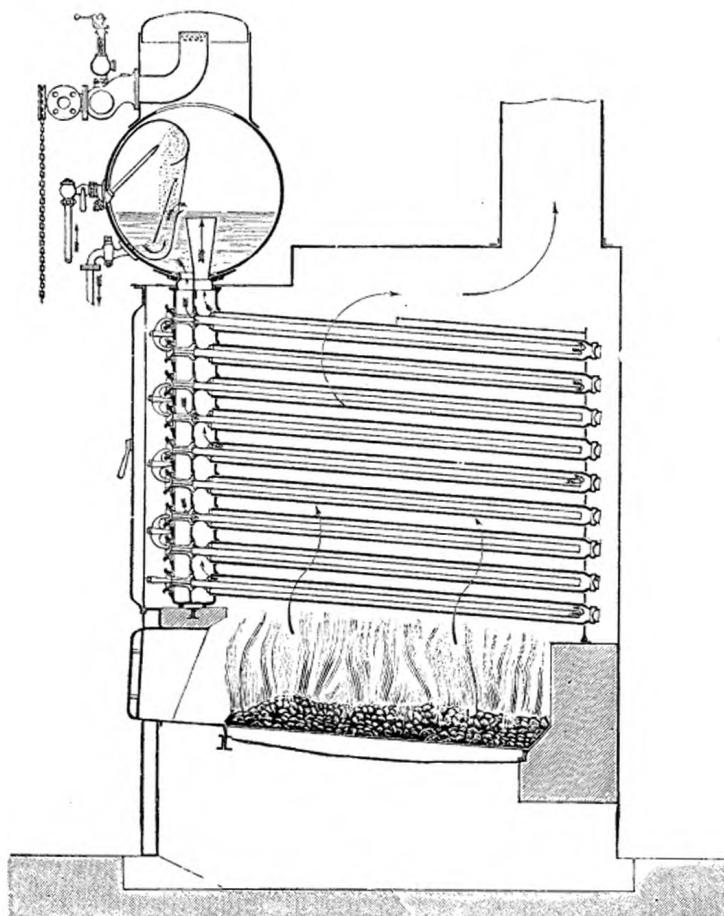


Fig. 427.

En ce qui concerne la vidange, la chaudière Niclausse est munie, entr'autres accessoires, d'un dispositif pour les extractions de surface, et d'un autre pour les extractions de fond. Le premier sert à enlever les huiles surnageant 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 purge sous pression par les extractions de fond pendant qu'on alimente les chaudières. Par l'effet

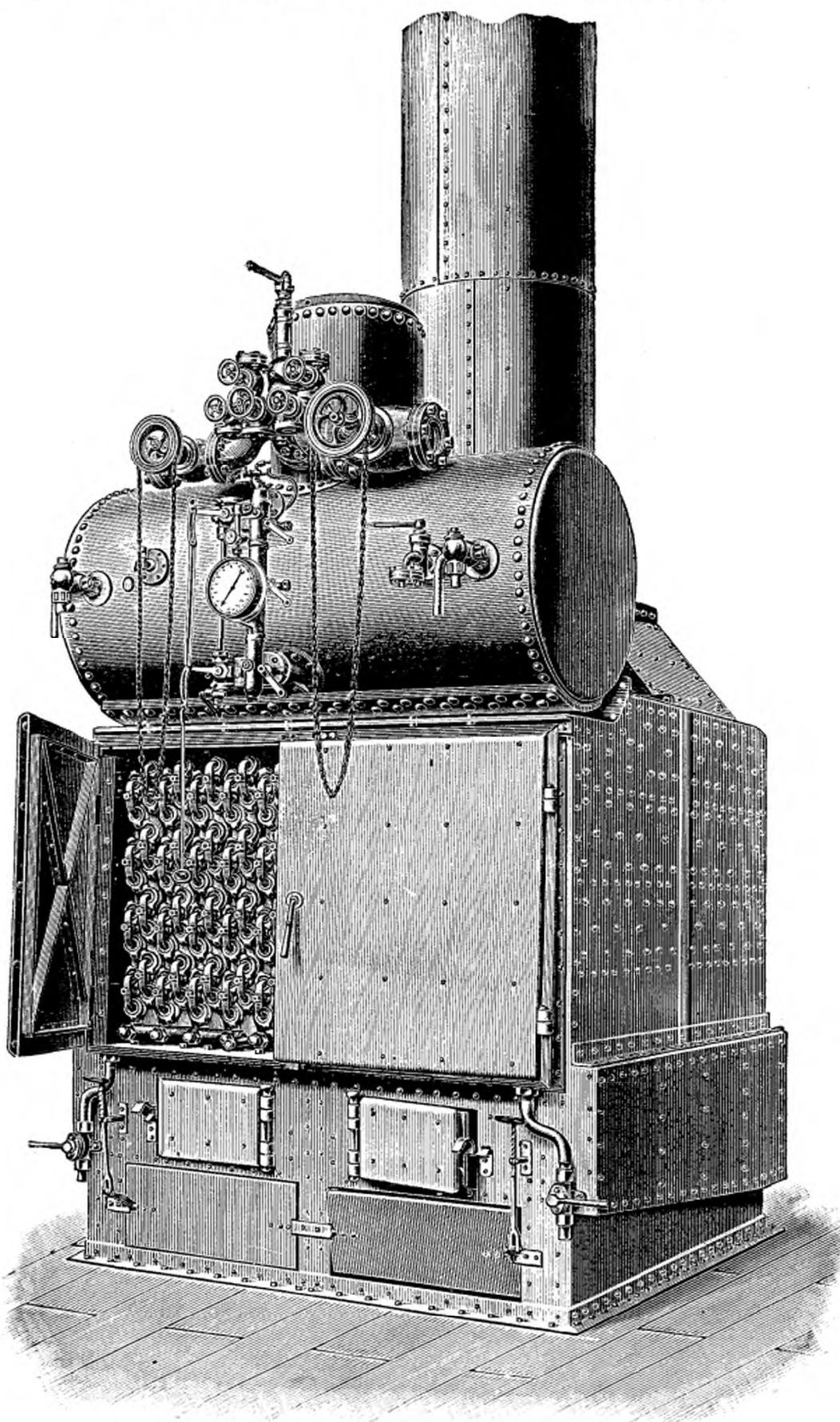


Fig. 128.

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 non moins de facilité que dans les autres types de chaudières.

Il est donc possible de faire, par les moyens les plus simples et les plus expéditifs, toutes les opérations nécessaires au fonctionnement, même dans le cas de marche accidentelle.

Il reste maintenant la question du nettoyage. Il est prouvé aujourd'hui que les dépôts à l'état boueux peuvent devenir durs quand la chaudière perd son eau, et présenter de grandes difficultés pour le nettoyage. Il n'y a donc pas utilité de vidanger la chaudière avant son nettoyage, mais il y a au contraire nécessité à ne pas le faire. C'est l'idéal réalisé dans la chaudière Niclausse où l'on ne fait évacuer l'eau des tubes qu'au moment même du nettoyage, soit en les sortant, soit en employant des pompes spéciales.

Régularité de fonctionnement. — La grande régularité de fonctionnement de ce générateur est due à la quantité d'eau relativement considérable qu'il renferme, puisque le niveau de marche est à mi-hauteur du récepteur d'eau et de vapeur, et aussi à des grilles larges, peu profondes, ainsi qu'à des chambres de combustion vastes qui permettent un chauffage régulier. De plus, sa grande puissance de vaporisation et l'absence de nombreux appareils auxiliaires rendent le fonctionnement plus simple.

Utilisation du combustible. — La disposition des tubes et les chicanes ménagées à diverses hauteurs du faisceau tubulaire, forcent les gaz à se débarrasser de leur chaleur avant de se rendre dans la cheminée. On maintient d'ailleurs, entre la surface de chauffe et la surface de grille, un rapport variant avec les différents degrés de combustion.

Pour les chaudières ordinaires de grands navires, ce rapport varie de 32 à 36, avec des combustions ne dépassant pas 170 à 180 kg. de charbon par mètre carré de grille.

Sur les torpilleurs au contraire, où la combustion s'élève jusqu'à 400 kg. par mètre carré de grille, ce rapport atteint jusqu'à 50.

D'ailleurs, la circulation extrêmement active proportionnelle à la combustion, facilite l'échange de chaleur entre les gaz et l'eau, puisque cet échange se fait d'autant mieux que les différences de températures sont plus considérables. La faible température de sortie du gaz est la meilleure preuve de la bonne utilisation du combustible. Pour des combustions de 80 à 100 kg. par mètre carré de grille, cette température ne

dépasse pas 225 à 250°; pour une combustion de 300 kg., elle était, dans les essais officiels du « Téméraire », inférieure à 390°.

Production de vapeur sèche. — La production de la vapeur, dans les générateurs Niclausse, est toujours considérable, même aux plus hautes allures de combustion. Les essais officiels du « Téméraire » ont donné :

à 200 kg. de combustion,	42 ¹ ,800 par m ² de surface de chauffe
à 250 »	51 ¹ ,400
à 325 »	66 ¹ ,130
à 400 »	79 ¹ ,500

Aux grandes allures de combustion, l'humidité de la vapeur n'a pas atteint 1 0/0. Cette siccité de la vapeur a deux causes principales :

1^o Séparation complète des courants descendants d'eau d'alimentation et des courants ascendants de vapeur, qui permet à la vapeur de se dégager sans être gênée dans ses mouvements.

2^o Réduction du chemin que doit parcourir la vapeur pour se rendre dans le récepteur, même depuis les rangées inférieures, et grandes sections de dégagement, ménagées dans les collecteurs où viennent déboucher les tubes ainsi que dans le récepteur lui-même. Il en résulte une diminution de la vitesse de dégagement de la vapeur.

Lors des essais de changements d'allures qui ont été effectués sur le « Friant », on a pu passer en 2 ou 3 minutes, d'une vitesse nulle à la vitesse de 14 noeuds, et réciproquement, sans qu'il y ait eu le moindre claquement dans les cylindres.

Dépenses d'entretien. — Un appareil pouvant être facilement démonté et rapidement visité se trouve dans des conditions normales de fonctionnement et les avaries deviennent très rares. Il en résulte une dépense d'entretien très faible.

Un mécanicien qui sait que ses chaudières peuvent être remises très vite en état de marche, n'hésitera pas à les démonter pour le nettoyage, même quand il saura que le navire doit rester peu de temps au mouillage; non seulement il obtiendra une bonne et constante utilisation du combustible, mais il réduira beaucoup les frais d'entretien.

Pièces interchangeables. — C'est surtout pendant une guerre que ressort le grand inconvénient d'avoir des appareils différents sur les navires d'une même flotte; on est alors conduit à prévoir des approvisionnements importants puisque dans tous les Arsenaux de la Marine et dans tous les points d'appuis de la flotte, il est nécessaire de pos-

séder des rechanges de tous les modèles. Il peut en résulter de nombreuses erreurs dans les expéditions faites par des transports aux esquadres opérant à la mer et, par suite, certaines unités de combat peuvent se trouver immobilisées.

Il importe donc qu'une grande puissance maritime possède des appareils évaporatoires avec toutes les pièces absolument interchangeables.

Les tubes sont les éléments qui fatiguent le plus, il faut donc qu'ils soient absolument identiques et indépendants les uns des autres.

Nous avons vu que les chaudières Niclausse réalisaient ces conditions. En 4 heures, un croiseur peut remplacer tous ses tubes des deux rangées inférieures, qui fatiguent le plus, soit par des tubes neufs, soit par ceux des rangées supérieures.

De plus, les approvisionnements sont bien diminués quand on n'a plus qu'un modèle unique de tubes pouvant servir non seulement à toutes les chaudières d'un même navire, mais encore à toutes celles d'une même flotte.

Ces raisons ont fait adopter à la maison Niclausse deux types de tubes : celui de 84 pour les grands navires et celui de 44 pour les torpilleurs.

Nous verrons plus loin que la construction des chaudières Niclausse se fait actuellement dans un grand nombre d'usines du monde entier, ce qui permet encore aux bâtiments des diverses marines de s'approvisionner dans les principaux ports de l'Europe et de l'Amérique.

Mise en pression rapide et changements brusques d'allure. — La guerre hispano-américaine a fait ressortir les graves inconvénients que présentent les chaudières cylindriques.

A Santiago, les navires américains durent conserver toutes les chaudières allumées pour être prêts à toute éventualité ; il en résulta pour le personnel une énorme fatigue et pour le matériel une usure considérable.

De plus, les appareils ne pouvant être ni entretenus, ni réparés, s'enrassaient chaque jour davantage, les navires étaient obligés d'aller fréquemment faire de l'eau et du charbon et s'exposaient à être absents du champ de bataille au moment décisif de l'action, comme le « Massachusetts ».

L'amiral Melville, ingénieur en chef des Etats-Unis, a dit à ce sujet dans un rapport lu devant la Société des « Naval Architects American » :

« La bataille de Santiago a établi la nécessité de l'emploi des chau-

« dières à tubes d'eau. Il eût été pour nous, d'une importance considérable de posséder pendant le blocus des chaudières capables d'avoirde la pression en moins d'une heure et demie. Nous n'aurions pas dé « pensé beaucoup de charbon pour avoir toutes les chaudières en pression.

« Le « Massachusetts » aurait pu prendre part à cette glorieuse journée s'il avait eu des chaudières à tubes d'eau. L' « Indiana » aurait pu soutenir l' « Oregon » et le « Texas ». Le « New-York » aurait fourni au moins 3 nœuds de plus et la marine aurait évité toute critique. »

Or, avec les générateurs Niclausse, il suffit de 20 à 25 minutes pour monter en pression et des chauffeurs non exercés arrivent en quelques heures à conduire ces chaudières aussi facilement que des chaudières cylindriques.

Les essais du « Cristobal Colon » ont été faits par des chauffeurs italiens qui voyaient ces appareils pour la première fois ; malgré cela, on a pu, à tirage naturel, atteindre 19 nœuds 6 et dépasser ainsi la vitesse prévue à tirage forcé.

De plus, les générateurs Niclausse permettent de passer brusquement d'une allure à une autre, sans qu'il en résulte d'inconvénients pour les machines et les chaudières, grâce à la grande élasticité des appareils et à leur propriété de fournir une vapeur absolument sèche.

Voici un extrait de rapport officiel, où l'on trouve que les chaudières Niclausse ont permis :

1^o De soutenir rapidement toute l'allure rapide que les machines peuvent donner.

2^o D'atteindre et de ralentir cette allure dans un délai dont la rapidité et la sûreté d'exécution n'ont jamais été atteints.

« Les mouvements suivants ont été exécutés sans qu'il se produisit le moindre trouble :

- « Passé de 12 nœuds à 0 en 2 minutes »
- « Passé de 13 nœuds à 15 nœuds 8 en 2 minutes »
- « Passé de 12 nœuds à 0 en 3 minutes »
- « Passé de 13 nœuds 2 à 3 nœuds en 3 minutes »

Encombrement. — Il est reconnu aujourd'hui qu'il y a un grand intérêt à ne pas dépasser des combustions modérées par mètre carré de grille. Le chiffre de 120 à 150 kg. doit être considéré comme un maximum, non pas pour la chaudière Niclausse elle-même qui supporte des combustions plus élevées, mais d'abord pour éviter un surcroit de fa-

tigue aux hommes et ensuite à cause des difficultés de manipulation de

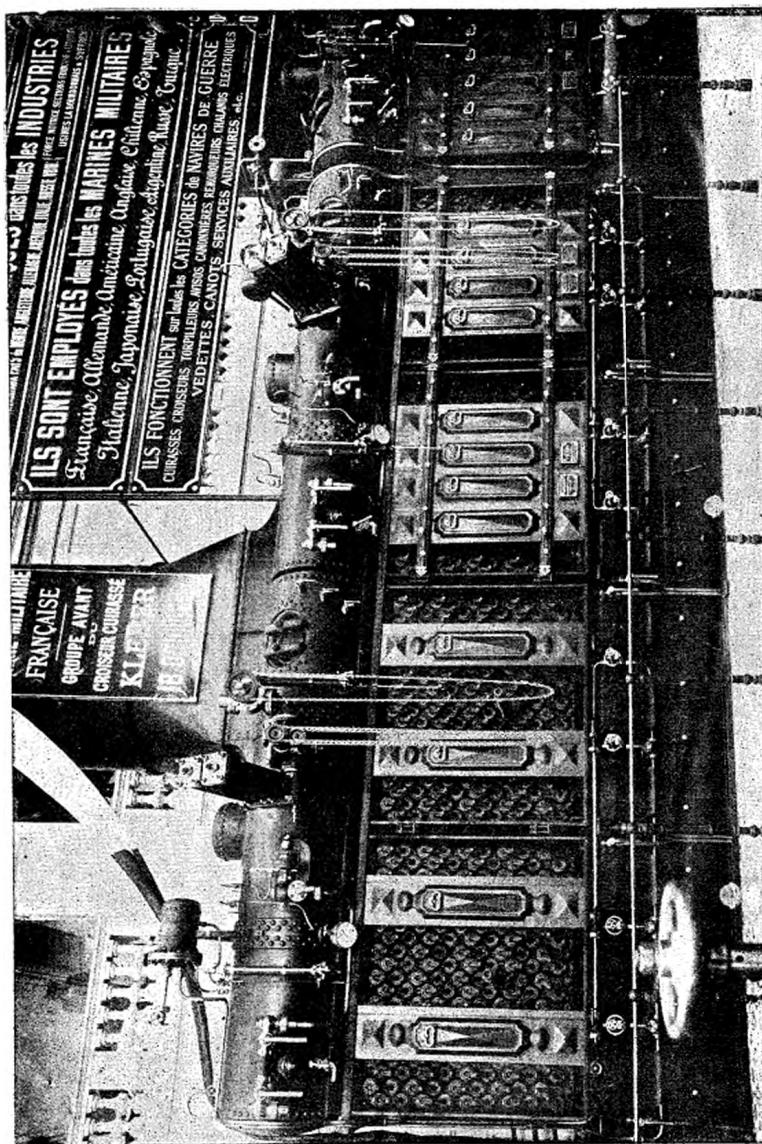


Fig. 429. — Chaudières Niclaissé du croiseur *Kleber*.

grandes quantités de charbon dans des espaces relativement étroits, surtout lorsqu'on est obligé de se servir des soutes de réserve. Comme il importe d'obtenir à bord des puissances très élevées, ce qui se traduit

par l'emploi de larges surfaces de grille, il faut avoir des chaudières peu encombrantes pour en loger le plus grand nombre possible dans un espace donné.

Nous avons vu à ce sujet, que les chaudières Niclausse occasionnaient un encombrement horizontal très faible. De plus, la circulation très active dans ces appareils et la façon dont les tubes sont fixés par une seule extrémité aux collecteurs verticaux, rendent possibles toutes les combustions; il est donc facile de soutenir une marche d'escadre relativement élevée avec un nombre réduit de chaudières, ce qui diminue la fatigue du personnel.

On peut citer beaucoup d'exemples de résultats obtenus dans ce sens. Nous nous bornerons au plus caractéristique :

Sur une chaudière de torpilleur du type « Téméraire », on a brûlé, pendant dix heures consécutives, 400 kg. de charbon par mètre carré de grille, sans qu'il se soit produit aucun trouble dans la chaudière. De telles combustions ne sont pas à recommander en usage courant; mais il peut être utile, à un moment donné de les obtenir sans difficulté.

Fractionnement en pièces de dimensions réduites. — Les chaudières Niclausse peuvent être fractionnées en unités aussi faibles que possible : on a descendu, dans de petites embarcations, des appareils d'une puissance de 10 chevaux et la puissance de chaque chaudière sur les grands bâtiments atteint 1 300 chevaux.

Le récepteur de vapeur, qui forme l'élément le plus lourd et le plus encombrant, passe facilement par les panneaux et les ouvertures de la cheminée. On n'est donc pas obligé, tous les sept ou huit ans, de démolir les ponts cuirassés ou d'ouvrir les flancs du navire pour changer les appareils. Cette opération est rendue facile par le démontage en petits éléments.

Un ingénieur de la marine française s'exprime à ce sujet de la façon suivante, dans un mémoire présenté à l'Association technique maritime :

« Une marine soucieuse de ne pas gaspiller ses millions doit organiser des arsenaux de telle sorte que les réparations et changements de chaudières s'effectuent, même en temps de paix, dans les plus courts délais. Si l'on change tous les dix ans, les chaudières d'une flotte de dix cuirassés, soit un changement par an, et si ce changement dure un an, la valeur moyenne de la flotte correspondra à 9,5 cuirassés; si le changement dure trois mois, elle correspondra à 9,7 cuirassés. Pour avoir toujours dix cuirassés disponibles, il faudra avoir, dans le premier cas 11,11 cuirassés et dans le second 10,3,

« soit une économie de 0,8 cuirassé, c'est-à-dire 23 millions au prix actuel du cuirassé. »

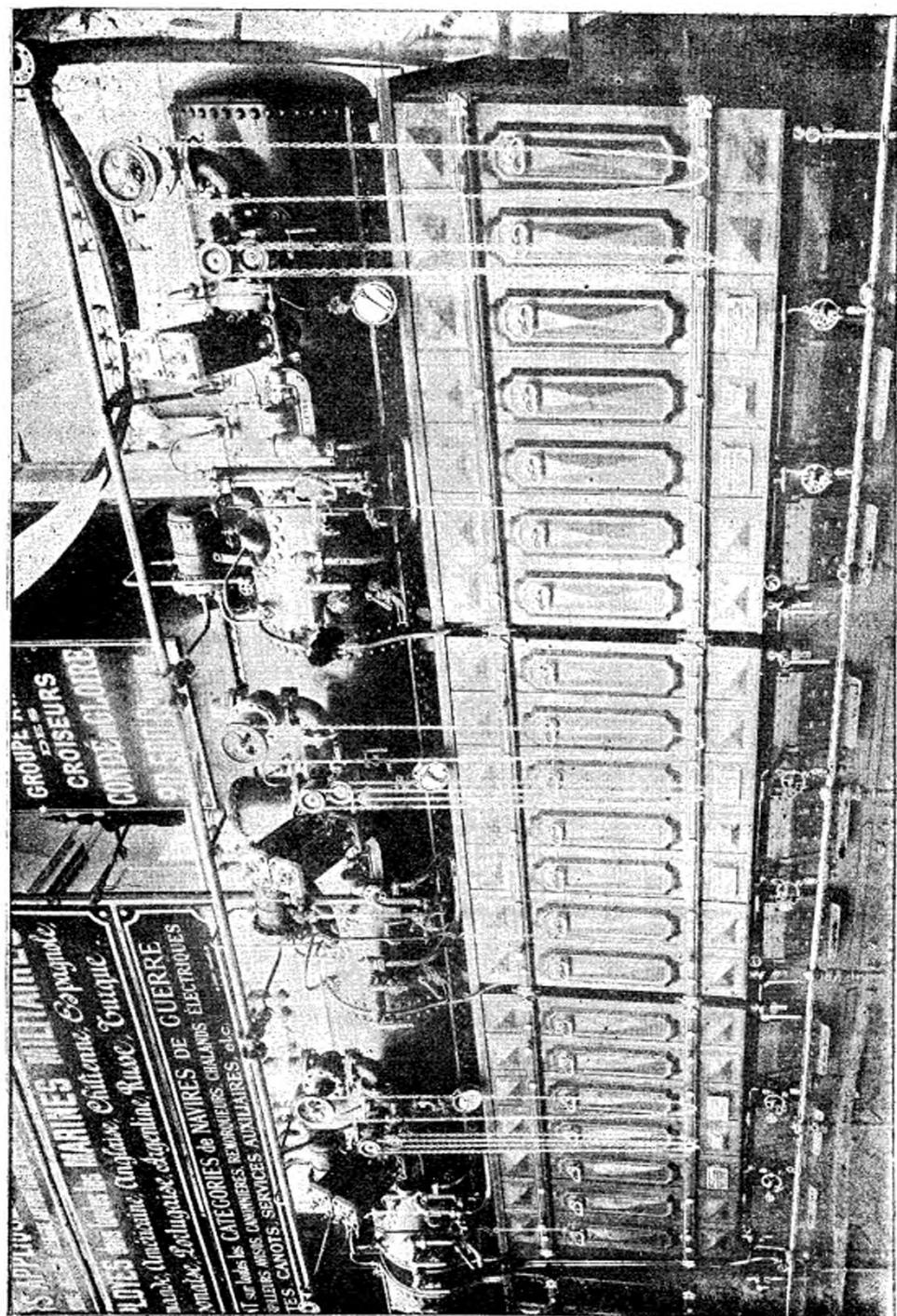


Fig. 130. — Chaudières Niclausse du croiseur *Condé*.

Conduite des chaudières. — La simplicité des appareils est un point sur lequel on ne saurait trop appeler l'attention. Au moment d'une déclaration de guerre, on prendra évidemment des chauffeurs

dans toutes les branches de l'industrie; et ils n'auront peut-être jamais conduit de feux sur un bâtiment. Il est donc de toute nécessité d'éviter les complications, les meilleures chaudières seront celles qui posséderont le moins d'appareils auxiliaires, épurateurs, régulateurs, brasseurs d'air, économiseurs, détendeurs, etc. Il faut que les chaudières à tubes d'eau soient aussi faciles à conduire que les chaudières cylindriques.

Or, dans les chaudières Niclausse, on a cherché à éviter tous les appareils auxiliaires autres que ceux des chaudières cylindriques. La grande siccité de la vapeur produite permet d'éviter les épurateurs; il n'est fait usage d'aucun appareil spécial pour augmenter, suivant les besoins, le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille et on n'emploie pas de détendeurs, la grande régularité de fonctionnement permettant toujours d'assurer aux machines la pression exigée.

Les pompes alimentaires elles-mêmes peuvent être d'un type quelconque; sur les dernières installations, il a été placé, à la demande de certains clients, des régulateurs automatiques d'alimentation avec sifflets d'alarme fonctionnant en cas de manque d'eau; mais ils ne sont nullement nécessaires et sur les navires *Friant*, *Elan*, *Cristobal Colon*, etc., il n'en existe pas. L'alimentation s'y est toujours effectuée dans de bonnes conditions.

Pour simplifier encore le service des chauffeurs, on a, dans plusieurs applications marines, réuni deux faisceaux tubulaires dans un récepteur de vapeur unique, avec deux grilles indépendantes. Mais il est certain qu'une pareille disposition, en cas d'avarie, immobilise une plus forte proportion d'appareils, et ne peut être employée qu'avec des chaudières dont les réparations se font avec une grande rapidité.

Légèreté et faible volume. — Au point de vue de la légèreté, M. Bertin s'exprime ainsi :

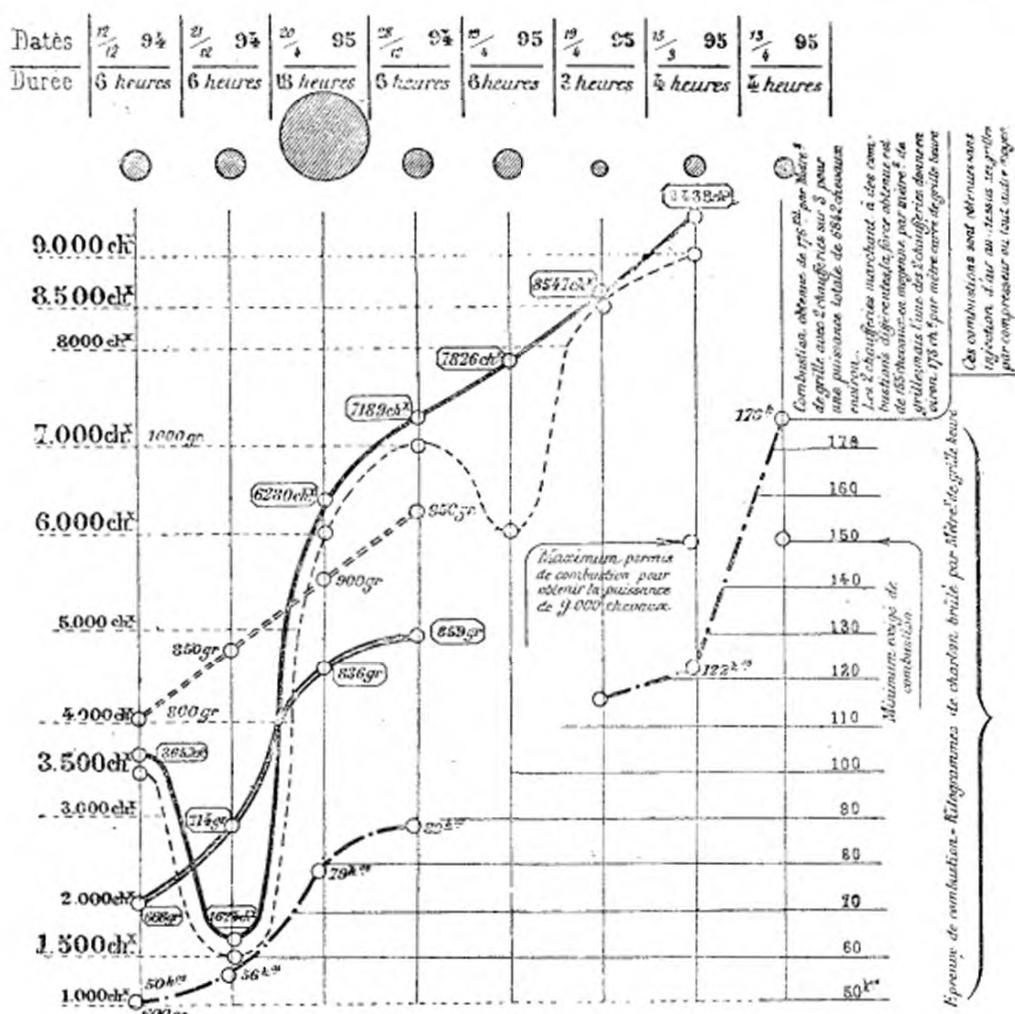
« L'avantage principal des chaudières tubulaires pour la marine et le motif dominant qui justifie la hardiesse des premiers essais est leur grande légèreté, comparativement aux chaudières marines cylindriques.

« Si nous considérons le poids total par mètre carré de grille, nous constatons que parmi les chaudières pour grands navires, la chaudière Niclausse est la plus légère. »

Résultats d'essais. — Avant de terminer notre étude sur les chaudières marines Niclausse, nous donnerons les résultats concluants de quelques essais.

1^o *Essais du « Frian »*, effectués en 1894 et résumés dans le graphique fig. 131 :

A propos des événements de Chine, le *Frian* s'est rendu dernièrement en Extrême-Orient. Il a appareillé trois jours après avoir reçu



Références

<i>Essai de Puissance</i>	<i>Prévue au marché</i> -----	<i>Essai de Consommation</i>	<i>Prévue maximum</i>
à chevaux indiqués de 75 kilogrammètres	Realisée aux essais ———	Grammes par cheval-heure	au marché ======

Combustion en Kilogrammes par Mètre carré de grille heure

Fig. 131. — Essais du *Frian*.

L'ordre et a effectué le voyage dans d'excellentes conditions, à une vitesse de 14 à 15 noeuds en moyenne. Malgré les grandes températures subies dans la Mer-Rouge, la conduite des feux et des différents services mécaniques a toujours été assurée par le même personnel chauffeurs et mécaniciens.

2^e Essais de « l'Elan ». — L'*Elan* servit fréquemment de yacht au président de la République Félix Faure; c'est aussi sur l'*Elan* que le président Loubet a passé, à Cherbourg, l'inspection de l'Armée navale commandée par l'amiral Gervais.

Première série d'essais.

DÉTAILS DE L'ESSAI	26 août	27 août	29 août	1 ^{er} sept.
Conditions.	Tirage naturel	Tirage forcé	Tirage forcé	Tirage naturel
Température extérieure.	47°5	48°	49°	49°
Température de l'eau d'alimentation	45	45	45	45
Durée de l'essai	6 h.	4 h.	4 h.	6 h
Température des gaz à la base de la cheminée	296°6	358°9	362°8	296°5
Tirage en mm d'eau dans la boîte à feu bâbord	4,65	7,78	10,44	7,54
Tirage en mm d'eau dans la boîte à feu tribord	6,61	7,78	10,44	7,77
Tirage en mm d'eau à la base de la cheminée	40,23	48,00	48,55	43,31
Charbon brûlé par heure et par m ² de grille	94 ^k ,224	457 ^k ,034	207 ^k ,285	83 ^k ,752
Poids total des escarbilles humides recueillies après l'essai (pour une chaudière).	44 ,00	57 ,00	63 ,00	40 ,00
Vaporisation par m ² de surface de chauffe et par heure	27 ,778	40 ,675	48 ,016	23 ,794
Vaporisation par kg. de charbon brûlé (chiffre brut).	9 ,333	8 ,200	7 ,333	9 ,730
Vaporisation par kg. de charbon température de l'eau ramenée à 40°.	9 ,741	8 ,544	7 ,612	10 ,445
Vaporisation par kg. de charbon en ramenant l'eau à 40° et en défaillant les escarbilles du charbon brûlé.	40 ,046	8 ,900	7 ,896	40 ,535

Deuxième série d'essais.

DÉTAILS DE L'ESSAI	4	2
Durée de l'essai	6 h.	3 h.
Pression aux générateurs.	9 ^k ,446	10 ,500
Quantité d'eau vaporisée obtenue	3 083 ,00	3 963 ,00
Charbon brut par heure.	344 ,00	516 ,00
Charbon brûlé par heure et par m ² de grille.	454 ,00	254 ,00
Vaporisation par kg. de charbon brut.	9 ,024	7 ,68
Vaporisation par kg. de charbon, l'eau étant ramenée à la température de 40°.	9 ,358	*

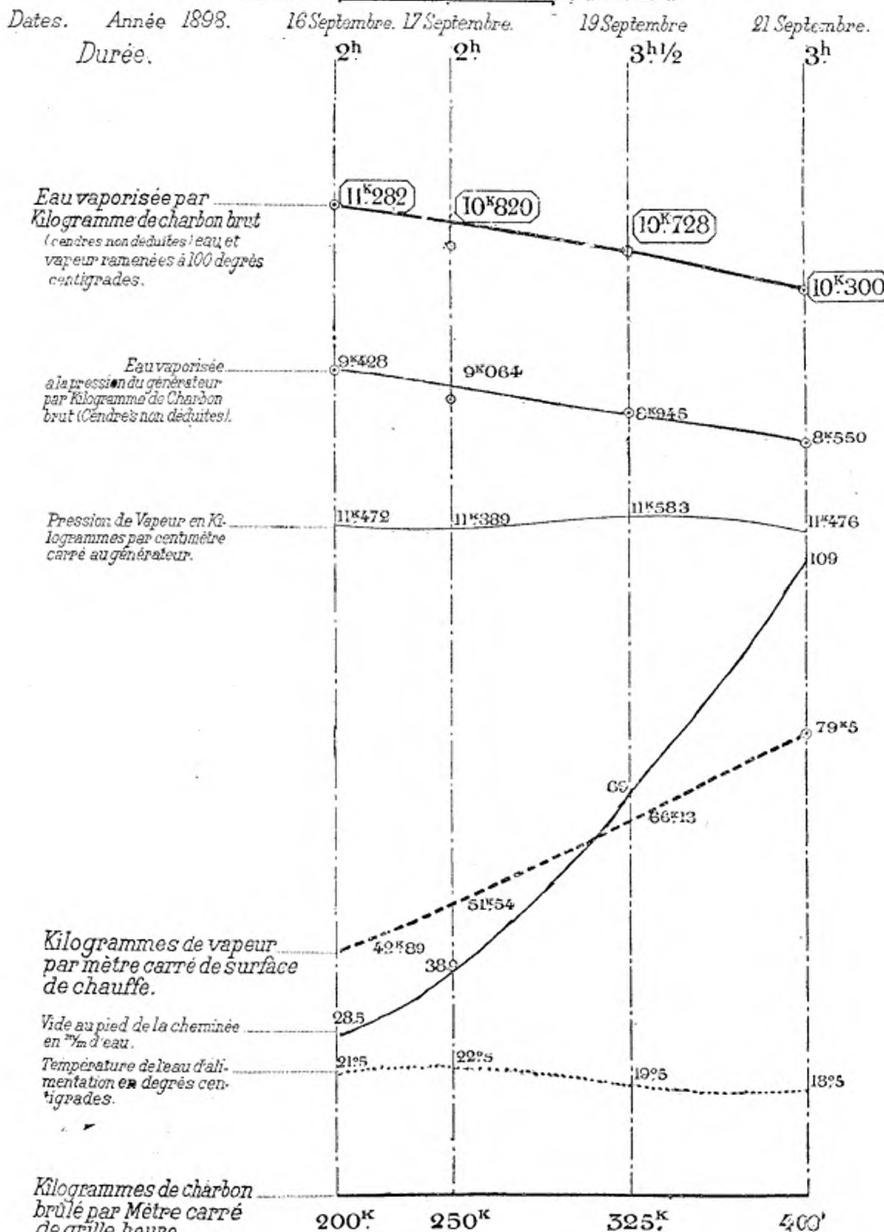
Troisième essai.

A la demande du fournisseur, il a été procédé à un troisième essai, à une combustion de 270 kg. par mètre carré de surface de grille.

Après cet essai à outrance, il n'y avait ni fuite, ni étranglement dans le faisceau tubulaire.

MARINE

Essais effectués sur un générateur Niclausse du TEMERAIRE



Le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille est de 43.85

Le poids de ces chaudières est de 70^K par mètre carré de chauffe et de 8.5 par cheval en considérant qu'une seule chaudière peut produire les 1.00 chevaux demandés à la combustion de 400^K par mètre carré de grille.

Fig. 432.

En résumé, les chaudières Niclausse de l'*Elan* ont rempli, et au delà, toutes les conditions imposées au marché.

3^e Essais du Téméraire. — Le torpilleur de haute mer *Téméraire* possédait deux chaudières locomotives qui ont été remplacées par deux chaudières Niclausse dont les faces se font vis-à-vis, en laissant entre elles une chambre de chauffe de 4^m,50 de long sur 3^m,40 de large.

Les deux générateurs possèdent ensemble une surface de grille de 6^{m²},84 et une surface de chauffe de 300 m², ce qui donne un rapport de 44. Leur encombrement superficiel est de 10^{m²},58 et le poids total des appareils atteint 20.000 kg.

Chaque générateur est composé de 12 éléments comportant chacun 48 tubes vaporisateurs de 40 mm. de diamètre extérieur et 2^m,10 de longueur, soit un total de 576 tubes pour une seule chaudière et de 1.152 tubes pour l'ensemble.

Le graphique fig. 132 résume les essais qui ont été effectués sur ces générateurs.

Chaudières type transportable.

Par chaudières du type transportable, il faut entendre des appareils généralement de faibles dimensions, très légers, constitués par un faisceau tubulaire en tubes de petit diamètre et enveloppés dans une tôlerie légère de même genre que celles des chaudières marines.

Les chaudières pour canots, petites embarcations, etc., sont faites en types transportables (fig. 133).

Ces appareils peuvent être transportés tout montés, d'où leur vient le nom de types transportables. La maison Niclausse en a livré au Soudan, en Abyssinie, etc.

Chaudières Niclausse, type tramways.

La maison Niclausse a créé également des types spéciaux pour la traction sur routes et sur rails (fig. 134).

Les résultats obtenus ont été excellents. Depuis plus de deux ans, la maison Le Blant possède en Bretagne un service de voitures traînées par un truck portant une chaudière de ce modèle.

La Compagnie Générale des Omnibus de Paris a appliquée les mêmes chaudières pour sa traction mécanique.

Enfin, un type de 4 chevaux et au-dessus est également construit pour les automobiles.

Pour terminer, nous donnerons quelques renseignements sur la maison Niclausse et sur les succursales qu'elle possède à l'étranger.

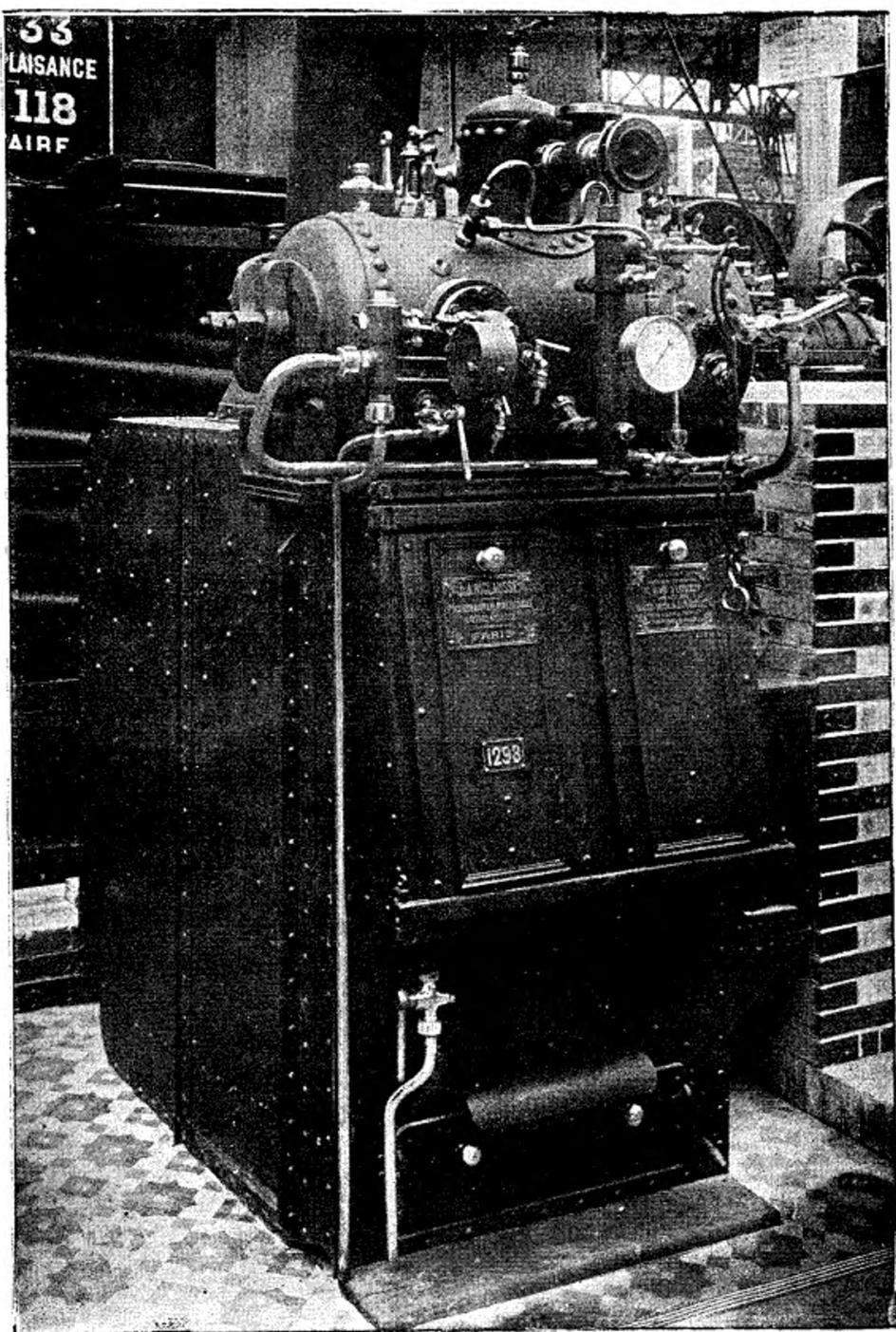


Fig. 133.

MM. J. et A. Niclausse s'occupent depuis 20 ans de la construction

des générateurs inexplosibles. Ils prirent la suite de la Société des générateurs A. Collet et C^{ie} dont M. Jules Niclausse était le directeur.



Fig. 434.

Cette Société avait pris elle-même, en 1881, la suite de la Société en nom collectif fondée par MM. Ribourt, Collet et Giraldon.

En 1890, MM. J. et A. Niclausse prirent un premier brevet en leur nom personnel pour les perfectionnements dans la construction des

générateurs multitubulaires, créant ainsi un système particulier à tubes indépendants.

Ce brevet de 1890 subit d'autres perfectionnements qui furent l'objet de nouveaux brevets pris dans tous les pays.

Le succès de construction des générateurs Niclausse fut si considérable que tous les modèles sont aujourd'hui fabriqués par les principaux constructeurs du monde, savoir :

En Angleterre : Par Willans et Robinson, à Rugby ;

Par Humphry, Tennant et C^e, à Londres.

En Amérique : Par The National Niclausse Water tube Boiler C^o ;

Par W. Cramp et Sons, Philadelphie ;

Par The Stirling Company, Chicago.

En Allemagne : Par les Chantiers et Ateliers Germania (filiale de la maison Krupp), à Kiel.

En Italie : Par Ansaldo et C^e, Gênes.

Par Hawthorn-Guppy, Naples.

En Russie : Par les Chantiers Navals, Ateliers et Fonderies de Nicolaïeff.

En France, les Ateliers de la rue des Ardennes produisent actuellement plus de 100 000 chevaux par an.

Chaudières Piedbœuf.

La Société anonyme des Etablissements Jacques Piedbœuf, de Jupille (Belgique), exposait dans le groupe IV une chaudière à deux foyers intérieurs, du type Cornwall-Galloway, reproduite *Pl. 33.*

Le corps cylindrique a 2^m,48 de diamètre et 11 mètres de longueur; les viroles qui le composent sont formées de tôles d'une seule pièce sur le pourtour; les rivures longitudinales sont à doubles couvre-joints et à triple rangée de rivets. Les couvre-joints intérieurs et extérieurs ont la même largeur; les rivures extrêmes sont distantes de 173 mm environ, sans que le couvre-joint extérieur soit découpé, comme on le fait souvent, afin de faciliter le matage.

Les chaudières sont forées sur place, puis démontées pour permettre l'enlèvement de la bavure du forage et remontées. Les collets sont obtenus à la presse hydraulique et le rivetage se fait sous des pressions variant avec le diamètre des rivets et pouvant atteindre 120 tonnes.

Les fonds sont emboutis mécaniquement; les trous d'homme et les nez pour indicateurs et soupapes d'alimentation sont venus de la même

tôle; les portes de trous d'homme sont également en tôle emboutie.

Les appareils réglementaires et l'appareil d'alimentation automatique sont placés sur des tubulures en fer forgé dressées au tour.

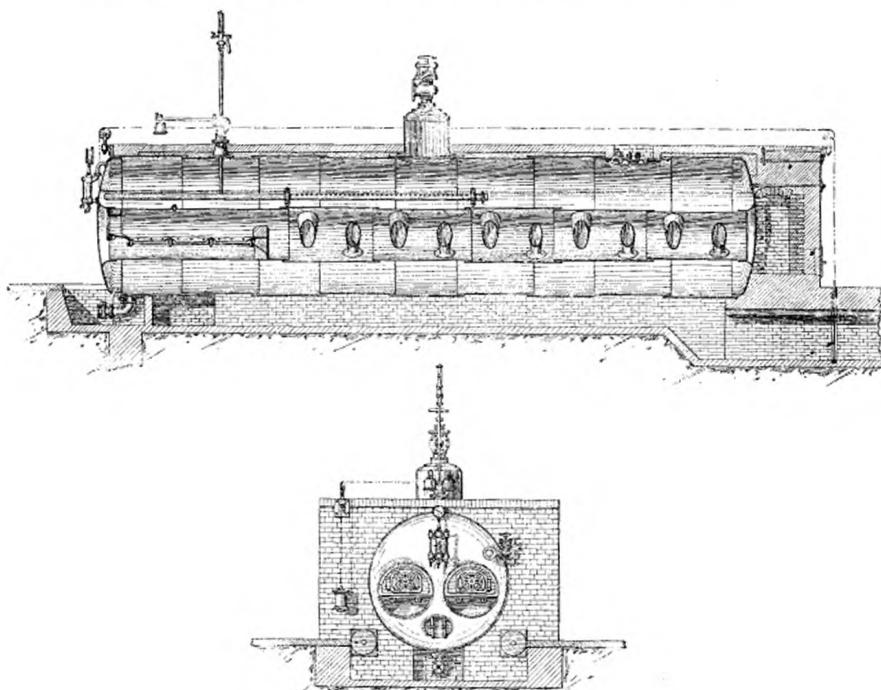


Fig. 135 et 136. — Chaudière Picd'bœuf.

Les bouilleurs coniques système Galloway sont faits mécaniquement; à l'intérieur, se trouvent des allonges placées à certains bouilleurs pour assurer une bonne circulation de l'eau.

La chaudière exposée a 120 m^2 de surface de chauffe; elle est timbrée à 10 atmosphères et peut produire jusqu'à 3 600 kg. de vapeur à l'heure.

Les tôles sont en acier Martin-Siemens basique de 36 à 40 kg. de résistance et 26 % d'allongement. L'excellente qualité de ce métal lui permet de subir sans inconvénient toutes les opérations que nécessite le mode de fabrication adopté.

La Société des établissements Picd'bœuf fabrique également des chaudières type Cornwall double, à un ou deux bouilleurs intérieurs et des chaudières semi-tubulaires à deux bouilleurs d'une construction très soignée et d'un rendement élevé (fig. 137 et 138).

Une batterie de dix chaudières semi-tubulaires à deux bouilleurs a

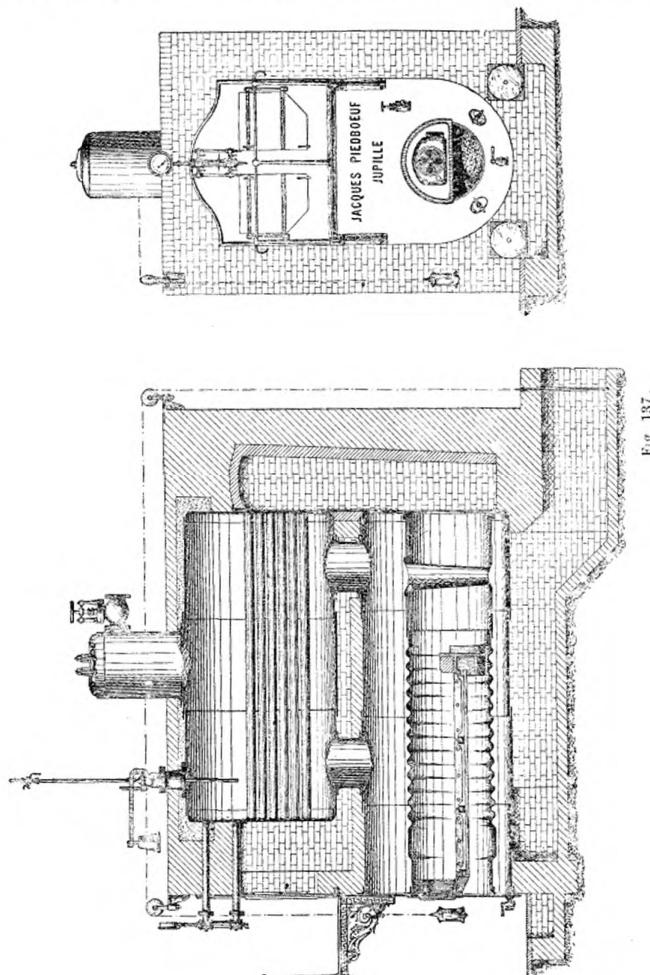


Fig. 137.

été installée à l'Usine centrale de la Société des sucreries de Wanze, où elle fonctionne depuis quelques années dans d'excellentes conditions.

Ces chaudières ont une surface de chauffe de 140 m^2 chacune, et les garanties de rendement qui ont été données par les établissements Piedboeuf, au moment de l'adjudication, étaient les suivantes :

1^o Pour une combustion d'environ 200 kg. de charbon par chaudière

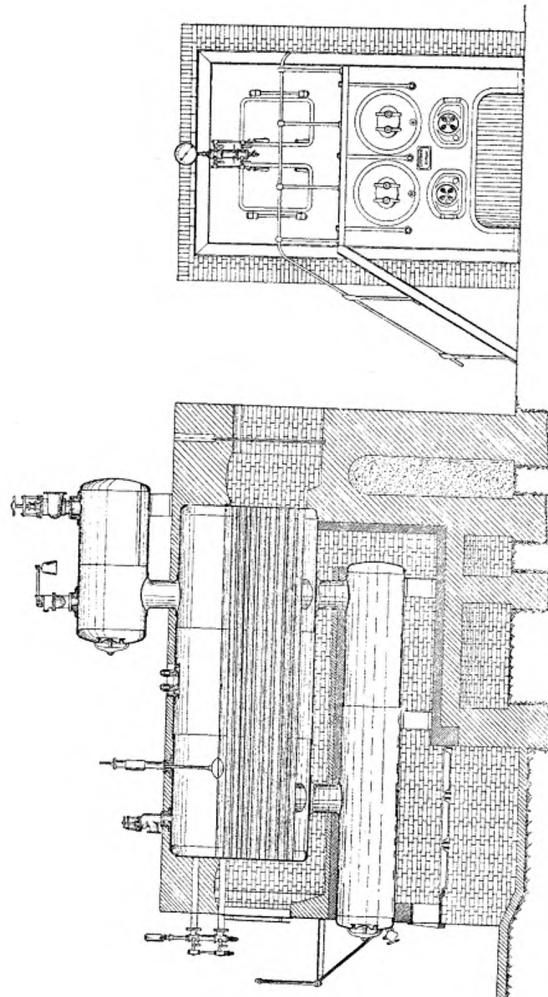


Fig. 438.

et par heure, le rendement devait être de plus de 9^k,300 de vapeur par kilogramme de charbon net brûlé (humidité et cendres déduites).

2^o Pour une combustion de 300 kg. environ de charbon par chaudière et par heure, le rendement devait être encore de 8^k,300 de vapeur par kilogramme de charbon net.

Le charbon imposé par la Société des sucreries était le demi-gras du Horloz.

Les essais, exécutés par les soins de l'Association pour la surveillance des appareils à vapeur, ont donné les résultats suivants :

DÉTAIL DES ESSAIS	Combustion à 300 kilos	Combustion à 200 kilos
Dates des essais	41 avril	42 avril
Durée des essais	9 h. 40'	9 h. 42'
Etat initial { Pression de la vapeur.	4,7	4,6
de Hauteur d'eau dans l'indicateur.	0,092	0,042
la chaudière { Poids des feux.	65 k.	58 k.
Etat final { Pression de la vapeur.	4,7	4,7
de Hauteur d'eau dans l'indicateur.	0,094	0,052
la chaudière { Poids des feux.	74 k.	56 ^k ,5
Température de l'eau introduite.	51° 5	48° 09
Poids de l'eau introduite.	21 533 k.	45 610 ^k ,7
Pression moyenne de la vapeur produite.	4,6	4,8
Poids de vapeur à 5 atmosphères avec de l'eau à 6° et équivalent comme quantité de chaleur au chiffre 5.	49 813,6	44 435,7
Poids à ajouter ou à retrancher du chiffre 5 du chef de l'eau qui se trouve en moins ou en plus dans la chaudière à la fin de l'essai.	- 43,4	- 87,4
Poids total de la vapeur réellement produite.	21 516,6	43 523,3
Poids total de la vapeur à 5 atmosphères faite avec de l'eau à 0° et équivalent à la chaleur absorbée utilement par la chaudière	19 802 ^k ,8	14 445 ^k ,5
Charbon chargé sur les grilles.	2 700	4 850
Corrections pour la différence des feux.	- 9	+ 4,5
Charbon réellement brûlé	2 691 k.	4 851 ^k ,5
Humidité du charbon.	2,9 0/0	3,4 0/0
Cendres trouvées à l'analyse	14,5	19,0
Vapeur à 5 atmosphères par kilogramme de charbon brut	7 ^k ,30	7 ^k ,78
— — — — — net	8,9	40
Vaporisation par m ² de surface de chauffe et par heure.	43,4	41,49
Vaporisation par heure	2 461,8	4 566,9
Combustion par m ² de surface de chauffe et par heure.	2,09	4,43
de grille	73,4	50,3
Combustion réelle par heure.	293,7	204,2
Température moyenne avant le registre	260°,8	210°
Dépression moyenne au foyer	2,5	4,7
— — avant les tubes	2,7	2,4
— — après les tubes	3,8	2,6

Enfin, la même Société construit des chaudières multitubulaires inex-
plosibles, système Jacques Piedbœuf (fig. 139).

La chaudière se compose d'un réservoir cylindrique supérieur, formant chambre de vapeur et d'eau, relié par deux larges communications en tôles de fer aux deux caissons plats, entretoisés, qui supportent le faisceau tubulaire.

Les tubes, en fer étiré ont 102 mm de diamètre. Un orifice circulaire, fermé par une petite porte autoclave conique, est pratiqué dans la paroi extérieure de chaque caisson, en face de chaque tube, et permet d'obtenir un nettoyage facile de chaque élément de l'appareil vaporisateur.

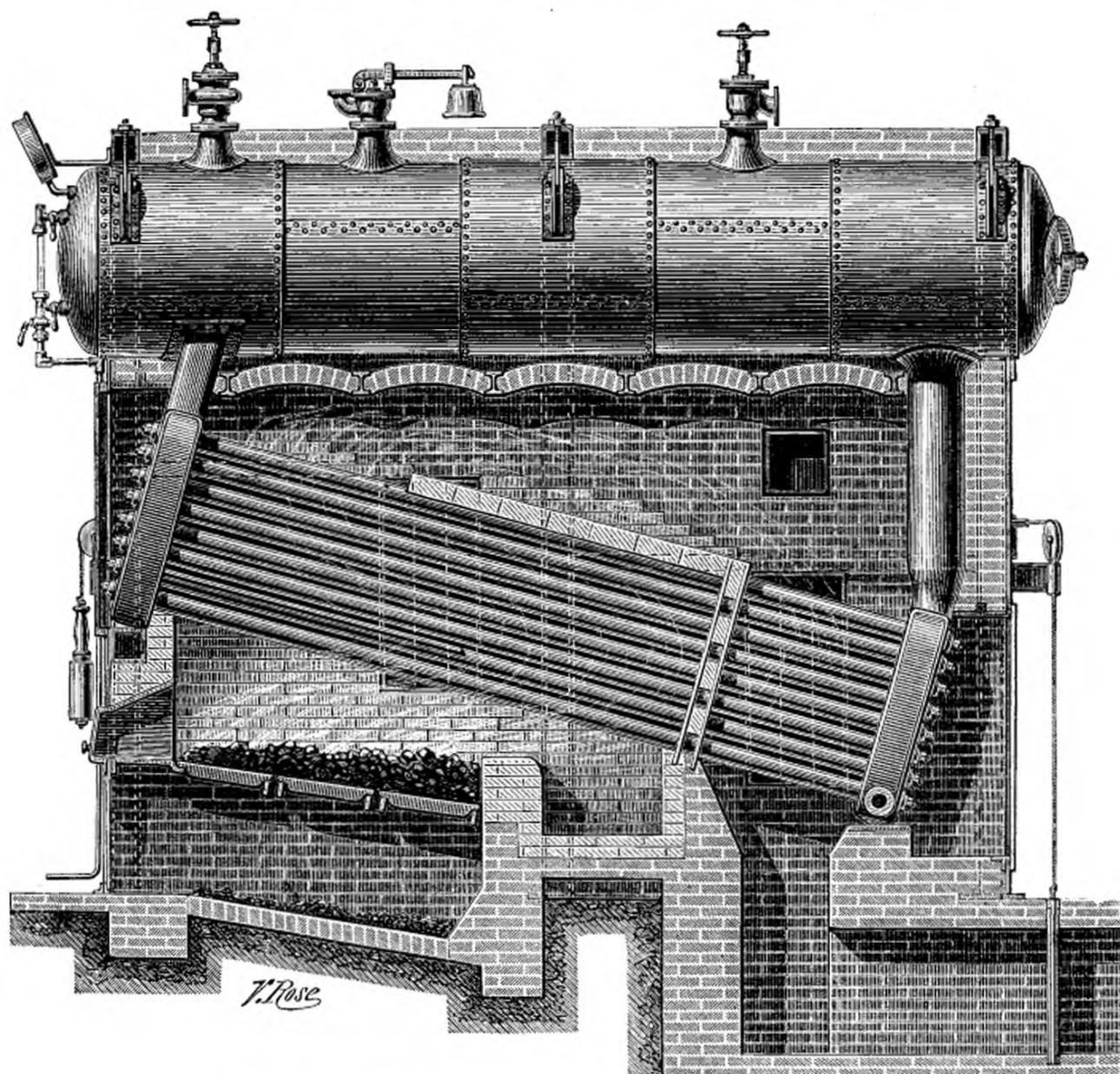


Fig. 139. — Chaudière multitubulaire, système Jacques Piedhœuf.

Chaudières système Roser.

Nous avons examiné dans le chapitre des générateurs en fonctionnement le type de chaudière multitubulaire à tubes simples, dont M. Roser avait composé sa batterie de six éléments installée à l'Usine La Bourdonnais.

A côté de cette batterie, mais ne participant pas à la production de la vapeur dans l'usine, figurait un petit modèle de générateur tubulaire, dit à retour de flammes, qui mérite une attention particulière.

De plus, la maison Roser exposait encore à l'état inerte, au pied de la cheminée monumentale de la section française, une chaudière semi-

tubulaire à circulation intensive que nous ne pouvons passer sous silence.

Chaudière inexplosible à retour de flammes, système Roser.

Dans la construction de cette chaudière, reproduite *Pl. 34*, M. Roser a cherché à résoudre le problème de la production de vapeur économique, tout en assurant aux industriels les garanties les plus complètes que peuvent présenter les chaudières à éléments, dites inexplosibles.

Cette chaudière, qui peut être employée dans le cas où on ne dispose que d'un emplacement restreint, joint à une grande simplicité une sécurité absolue, en réalisant les principes qui servent de base à la production économique de la vapeur à haute pression, savoir :

- 1^o Circulation méthodique de l'eau et des gaz.
- 2^o Alimentation bien conditionnée, séparation et stationnement des matières calcaires.
- 3^o Utilisation rationnelle du combustible ayant pour résultat le minimum de consommation.

L'élément se compose du rectangle AA' (fig. 140) dont les deux côtés, presque verticaux, sont deux collecteurs en fer forgé et soudé à sections rectangulaires, réunis par des conducteurs cylindriques B dans chacun desquels file un tube C; ce tube est assemblé à joints étanches sur les parois extérieures des deux canaux rectangulaires de l'élément et l'eau se trouve répartie dans tous les espaces annulaires compris entre les tubes B et C.

En plaçant côté à côté plusieurs de ces éléments, on constitue des chaudières de plus en plus puissantes.

Tous les éléments sont reliés entre eux, à la partie inférieure, par un bouilleur cylindrique appelé hydro-déjecteur, et à la partie supérieure, par un sommier horizontal en fer forgé D, réuni au moyen d'une tubulure au corps de la chaudière E; ce corps, en forme de T forme la réserve d'eau, donnant à la fois une grande surface d'évaporation et une forte provision de vapeur.

Le dôme de vapeur, qui fait partie du corps de chaudière E, communique par un conduit avec les quatre tubes horizontaux H qui constituent le sécheur-surchauffeur de vapeur et dont les communications alternées sont disposées de façon à obliger la vapeur à les parcourir successivement avant d'arriver au robinet de distribution.

Les côtés A, A' des divers éléments sont disposés côté à côté et se

touchent de façon à produire deux cloisons montantes surmontées d'un plafond, formé en K par la réunion des quatre réchauffeurs au moyen d'une murette.

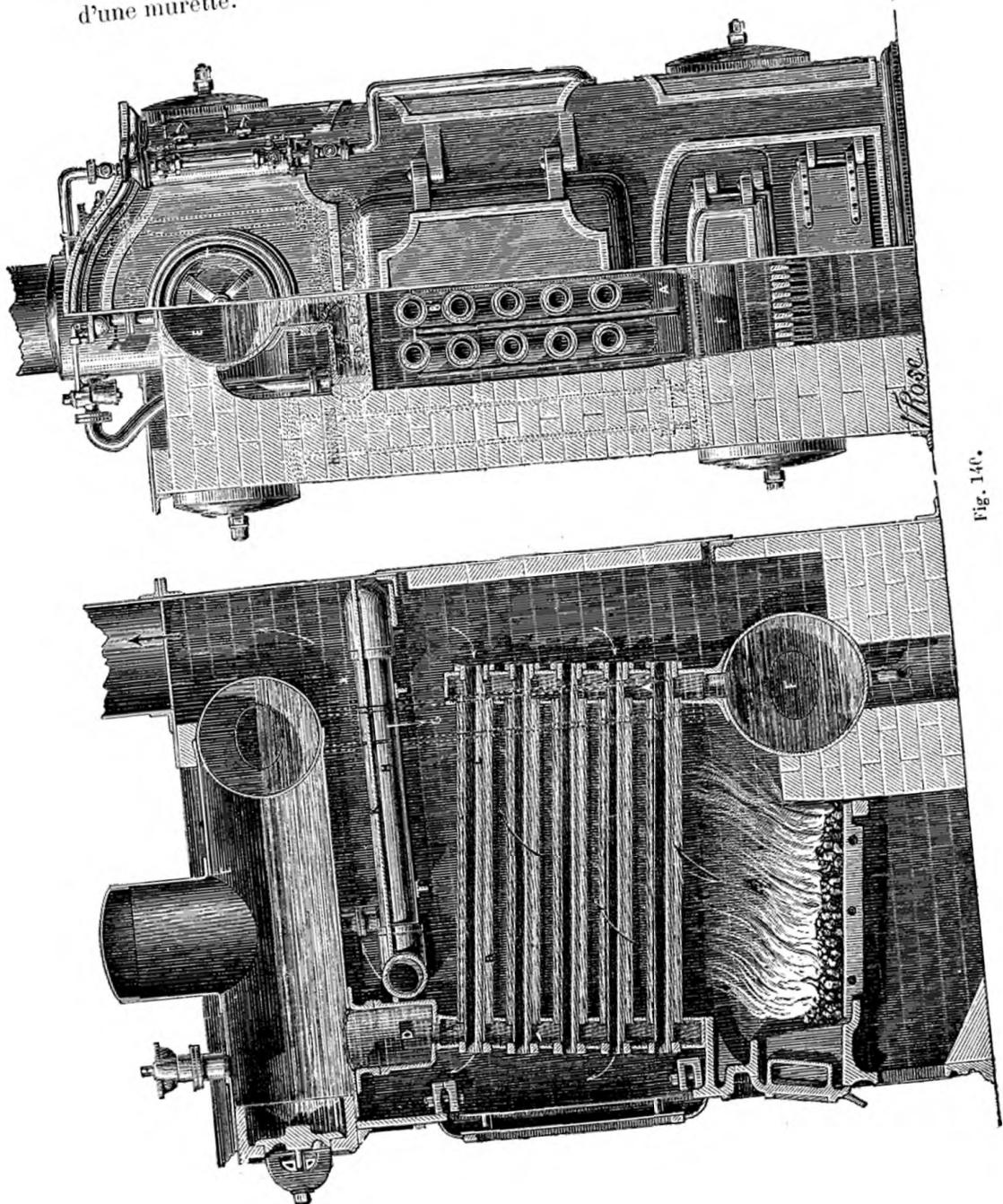


Fig. 140.

Dès lors, les gaz chauds, suivant les flèches, commencent par traverser le faisceau tubulaire : puis, ils reviennent, au travers des tubes C, sur le devant de l'appareil, d'où ils passent à la partie supérieure de la cheminée, en abandonnant leurs dernières calories au corps de la chaudière E.

Si l'on considère que l'alimentation en eau froide se fait précisément dans ce corps E, on voit que la partie la plus froide de la masse d'eau est précisément en contact avec les gaz les plus refroidis d'abord ; au fur et à mesure que l'eau descend du corps E par deux tubes G qui le relient à l'hydro-déjecteur F, elle est en contact avec des gaz plus chauds.

A partir de l'hydro-déjecteur, la température devenant encore plus élevée dans le faisceau tubulaire, l'eau s'y élève d'autant plus rapidement qu'elle est entraînée par l'activité de la vaporisation, et ce courant ascensionnel aboutit au corps de la chaudière E, qui, avec son dôme, forme réservoir de vapeur.

De cette façon, l'eau est animée d'une circulation continue, excessivement favorable à l'évaporation et à la propreté des parois internes qui sont toujours vierges de dépôts. Ceux qui se formeront dès l'arrivée de l'eau d'alimentation en E, seront entraînés dans l'hydro-déjecteur où ils s'emmagasinieront à l'état pâteux, le changement de direction dans le mouvement de circulation de l'eau favorisant leur séparation.

Le robinet de décharge permet d'extraire facilement les boues non adhérentes par le simple soutirage et même, s'il le faut, par des chasses d'eau faites dans des conditions et à des époques convenables.

L'ensemble de l'appareil est enfermé dans une maçonnerie de briques, formant un parallélépipède régulier avec devanture de tôle de fer.

Des portes permettent d'accéder au faisceau tubulaire ; les appareils habituels de sûreté sont disposés au-dessus et en avant de l'appareil.

Le démontage et le remplacement des pièces sont d'une grande facilité.

La construction est simple, économique, et réalise, sous le minimum de volume, tous les avantages qui peuvent être demandés à un appareil de ce genre.

La maison Roser construit ces chaudières d'une façon courante, suivant les indications contenues dans le tableau ci-après.

NUMÉROS DES CHAUDIÈRES	Production de vapeur sèche par heure	SURFACE DE CHAUFFE		EMPLACEMENT			CAPACITÉ	POIDS	SURFACE DE GRILLE	CUBE de la MAÇON- NERIE
		tubulaire	totale	longueur	largeur	hauteur				
K	M ²	M ²	M	M	M	M ³	K	D ²	M ³	
4	45	2,50	3,40	4,000	0,750	1,600	0,323	900	0,24	0,350
2	36	3,10	4,00	4,000	0,850	1,600	0,341	4,000	0,26	0,350
3	405	6,80	7,50	4,000	1,400	2,480	0,380	4,900	0,33	1,250
4	437	8,47	9,80	4,500	1,400	2,300	0,402	2,050	0,33	1,250
5	482	11,30	13,00	4,600	1,200	2,300	0,465	2,450	0,40	1,900
6	210	12,80	13,00	2,000	1,480	2,540	0,872	3,250	0,44	2,350
7	263	16,70	18,80	2,350	1,450	2,470	1,019	3,650	0,51	4,860
8	328	21,00	23,40	2,300	1,480	2,630	1,069	3,900	0,62	4,950
9	395	25,43	28,20	2,300	1,630	2,590	1,308	4,500	0,86	4,830
10	470	30,30	33,60	2,430	1,630	2,830	1,452	5,400	0,86	5,500
11	349	36,43	39,20	2,600	1,990	3,120	2,467	6,800	1,09	
12	672	43,70	48,00	2,630	1,940	3,210	2,574	7,300	1,32	7,200
13	767	51,22	54,80	2,750	1,990	3,500	2,583	8,350	1,32	7,300
14	906	58,90	64,70	3,050	2,210	3,420	3,411	9,300	1,67	7,950
15	1.074	71,00	76,70	3,050	2,220	3,670	3,569	10,250	2,03	9,600
16	1.480	78,25	84,30	3,400	2,220	3,880	3,724	11,400	2,03	9,850
17	1.390	91,25	99,30	3,430	2,840	3,960	3,408	12,600	2,62	10,400
18	1.610	106,75	115,00	3,210	2,840	4,120	3,518	14,250	2,62	11,700
19	1.862	121,00	133,00	3,470	2,840	4,140	3,891	15,030	3,48	11,950
20	2.100	139,80	150,00	3,470	2,840	4,360	6,089	16,000	3,48	12,700
21	2.296	151,70	164,00	3,560	3,040	4,120	6,579	17,530	3,89	13,350
22	2.548	170,00	182,00	3,560	3,040	4,360	6,880	18,700	3,89	14,150

Chaudière semi-tubulaire à circulation intensive, système Roser.

La chaudière semi-tubulaire a été, dans ces dernières années, assez recherchée par les ingénieurs et les industriels et souvent préférée au générateur multibulaire, en raison de la vaporisation souvent exagérée qu'on demande à celui-ci et du faible volume d'eau qu'il renferme.

Dans certains cas, pour obtenir une vaporisation normale, une grande stabilité de pression et une réserve de vapeur capable de parer aux besoins plus ou moins variables d'un fonctionnement industriel, le choix s'est porté sur la chaudière semi-tubulaire.

Mais, tout en donnant la préférence à ce genre de chaudières, on redoutait les coups de feu, si fréquents dans ce système et on regrettait de ne pas avoir une production de vapeur aussi économique que celle des générateurs multitubulaires.

Il fallait donc modifier le type semi-tubulaire et surtout trouver une disposition simple et pratique évitant les fréquentes réparations aux tôles de coups de feu des bouilleurs, réparations onéreuses, non seulement par le coût de la réfection proprement dite, mais encore par le chômage qui résultait souvent de l'arrêt de la chaudière.

La cause de ces accidents est connue ; elle provient d'une surchauffe de la tôle produite par un contact imparfait de l'eau avec le métal, à la

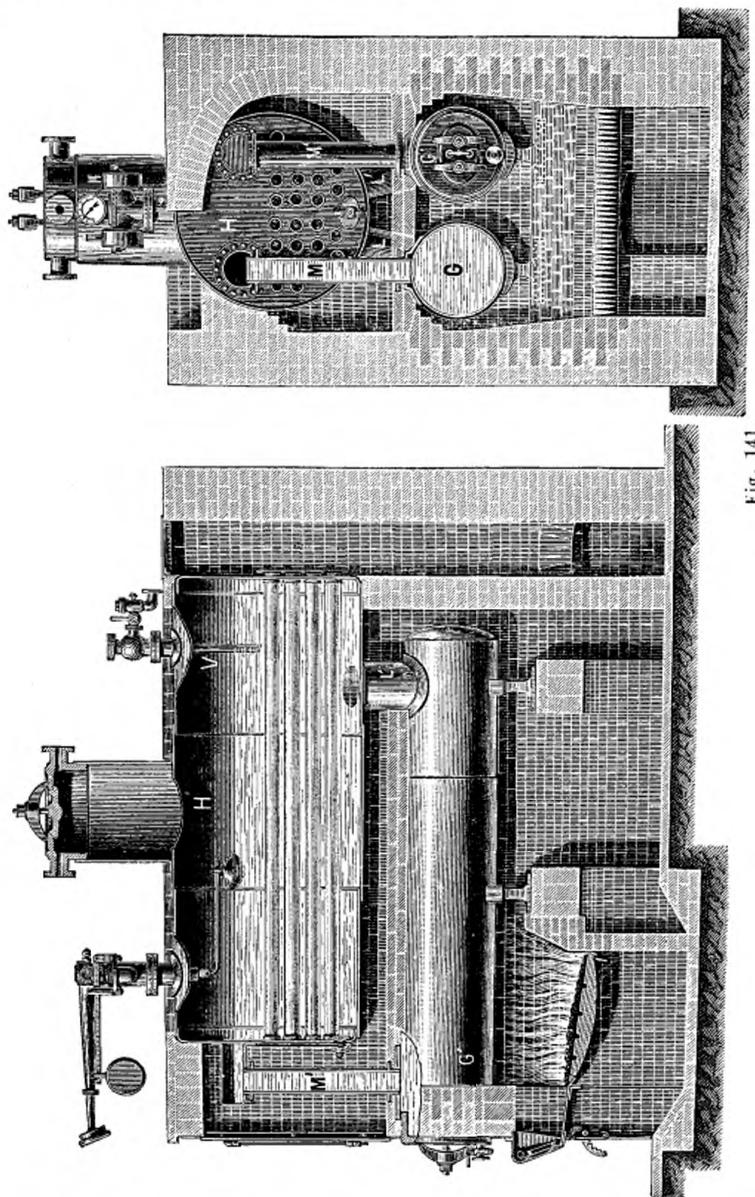


Fig. 141.

suite de l'interposition entre eux d'une couche de matières calcaires déposée après un manque de circulation de l'eau. Dans la chaudière semi-tubulaire ordinaire, la circulation est mauvaise à l'avant des bouilleurs, le courant s'arrêtant aux deux communications avant, qui

se trouvent à 1^m,50 au minimum en retrait des extrémités des bouilleurs.

M. Roser a donc étudié un nouveau modèle qui, tout en remédiant à ces graves inconvénients, devait offrir cependant les avantages de l'ancien système et il a réussi à construire un générateur répondant aux conditions imposées de circulation intensive.

Description. — La chaudière se compose de deux bouilleurs G et G', d'assez fort diamètre, surmontés d'un corps cylindrique supérieur H renfermant le faisceau tubulaire (fig. 141).

Ce faisceau est composé de tubes fixes simplement mandrinés dans les plaques avant et arrière, et de tubes à joints Berendorf amovibles permettant un nettoyage facile. Ce corps cylindrique sert en même temps de chambre de vapeur ; il est surmonté d'un dôme.

L'assemblage des bouilleurs et du corps supérieur se fait à l'arrière par deux communications L et L', et à l'avant, par les deux tubes de circulation M et M' placés à l'extrémité des bouilleurs et débouchant directement dans le corps cylindrique supérieur au-dessus du plan d'eau.

Les communications avant des chaudières semi-tubulaires ordinaires sont donc supprimées et remplacées par les deux tubes de circulation M et M', qui forcent le courant de circulation à passer dans toute la longueur des bouilleurs, de sorte que la vapeur formée dans la chambre de vapeur est évacuée directement, sans coude ni détour et, par conséquent, sans résistance.

Les deux tubes de circulation sont, pour ainsi dire, des émulseurs naturels ; ils déterminent une circulation extra-rapide dans les parties du générateur qui en étaient totalement dépourvues ; il y a donc vaporisation plus grande, par suite économie sensible et enfin impossibilité pour les matières calcaires de se déposer sur les parois internes des tôles de coup de feu.

Fonctionnement. — La flamme et les produits de la combustion chauffent d'abord les bouilleurs, puis ils reviennent en arrière autour du corps cylindrique et rentrent ensuite dans les tubes pour être évacués par les carneaux.

L'alimentation est faite en V, à l'endroit où la chaudière est le moins chauffée, et, au fur et à mesure que l'eau froide introduite suit le courant de circulation, elle est en contact avec les parois de plus en plus chauffées.

Chaudière Roser, type marine.

La maison Roser construit enfin une chaudière type marine qui présente les mêmes avantages qu'une chaudière industrielle, tout en répondant aux conditions spéciales que doivent remplir ces générateurs particuliers.

Une grande production de vapeur, la stabilité de la pression, une vaporisation économique, un poids léger et un faible encombrement forment les qualités générales qui sont demandées aux chaudières marines.

Or, la stabilité de pression, conséquence du grand volume d'eau contenu dans le générateur, n'est certainement pas un facteur favorable pour arriver à un faible poids ; d'autre part, la vaporisation très élevée et à haute pression exige une construction solide qui entraîne à donner aux parois des épaisseurs relativement considérables.

M. Roser a concilié toutes ces exigences en créant un appareil évaporateur à circulation très active qui, tout en augmentant la production dans de notables proportions et en la rendant économique, n'augmente ni de poids, ni de dimensions.

Description. — La chaudière se compose d'un faisceau tubulaire formé d'éléments G G'. Chaque élément est muni à l'avant de deux collecteurs en fer forgé et soudé L et K, de forme parallélipipédique, dans lesquels viennent se fixer les tubes vaporisateurs H par un simple mandrinage.

Les tubes vaporisateurs sont en forme d'**U** ; ils partent du collecteur L et reviennent dans le collecteur K. On voit donc que dans chaque élément les deux collecteurs ont un rôle bien distinct : le premier assure l'alimentation des tubes vaporisateurs que contient l'élément, et le second le dégagement de la vapeur produite.

Le collecteur L est assemblé au tube d'alimentation R desservant tous les éléments, et le collecteur C au réservoir d'eau et de vapeur O.

Ces assemblages sont faits au moyen de bagues biconiques d'une sécurité à toute épreuve et d'une étanchéité absolue. Des ouvertures, pratiquées dans les collecteurs, permettent de nettoyer chaque tube avec la plus grande facilité.

Le retour d'eau du réservoir supérieur au tube d'alimentation R se fait au moyen des tubes et caissons de retour d'eau S, T, V.

Le réservoir supérieur d'eau et de vapeur I se compose d'une partie transversale O et de trois parties longitudinales I', I'', I''' surmontées

chacune d'un dôme. Cette disposition offre une grande surface d'évaporation et constitue une réserve importante d'eau et de vapeur.

Du dôme, la vapeur, se rend dans un sécheur-surchauffeur formé par

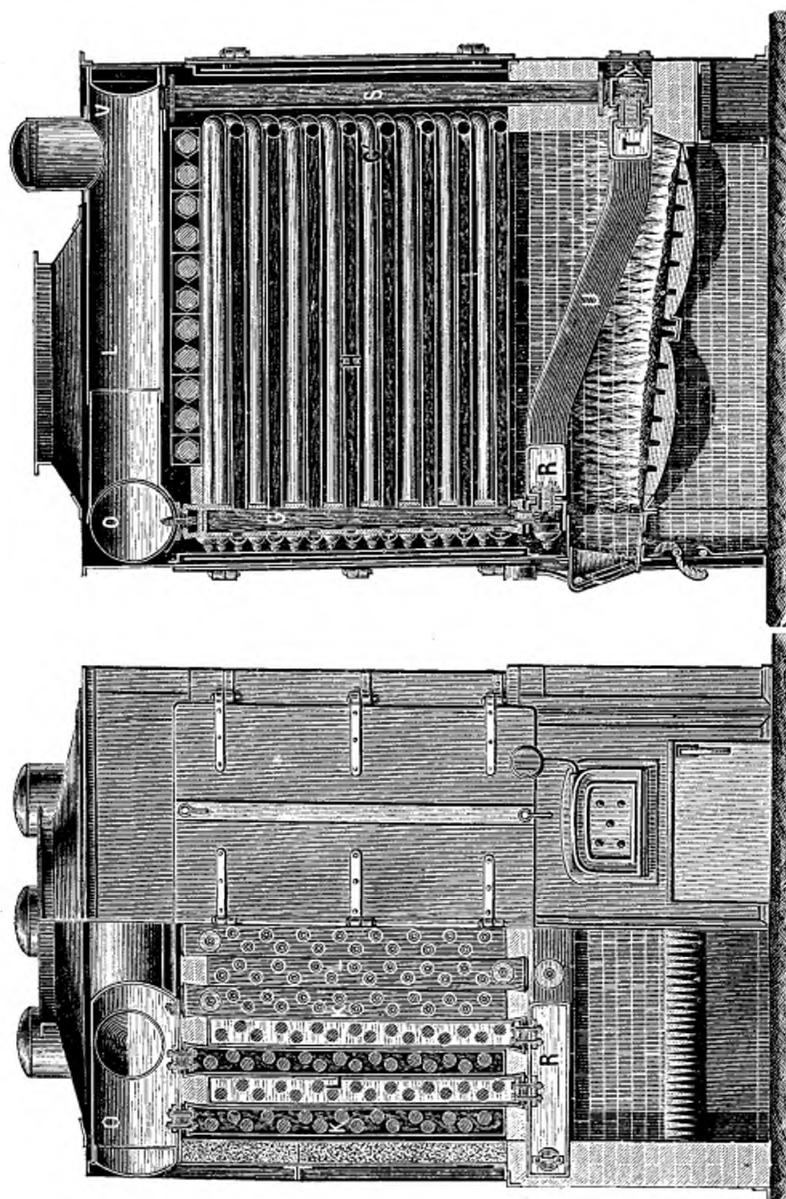


Fig. 142.

des tubes placés à côté les uns des autres et dont les communications alternées sont disposées de façon à obliger la vapeur à les parcourir successivement avant d'arriver au robinet de distribution.

Fonctionnement. — La grille est placée sous toute la longueur du

faisceau tubulaire ; les produits de la combustion s'élèvent au travers de ce faisceau, retardés dans leur course par quelques chicanes afin d'obtenir un chauffage rationnel de toutes les parties tubulaires.

L'eau d'alimentation arrive en V ; elle descend avec le retour d'eau par les tubes S et se rend au collecteur d'alimentation R par les caissons T et U ; elle rentre ensuite dans les collecteurs verticaux L, puis dans les tubes vaporisateurs pour sortir par les collecteurs K et passer dans le réservoir d'eau et de vapeur I.

L'ensemble du générateur est enfermé dans une enveloppe en tôle de fer avec briques et matières isolantes à l'intérieur.

Construction. — Toutes les pièces sont en acier et fer forgé ; l'exclusion de toutes pièces de fonte d'acier malléable est absolue. La sécurité du fonctionnement est donc très grande et les organes étant exposés à moins de détériorations, il en résulte une large économie dans les dépenses de réparation.

Toutes les pièces sans exception peuvent être facilement démontées et nettoyées ; elles sont interchangeables, ce qui complète les avantages déjà énumérés de ce générateur.

Le poids d'une chaudière de 180 m² de surface de chauffe est de 12 000 kg., soit 66 kg. par mètre carré de surface de chauffe ; il peut donc rivaliser avantageusement avec ceux des différentes chaudières marines construites à ce jour.

Chaudières Solignac.

MM. Solignac, Grille et C^e, constructeurs à Paris, ont exposé dans le Palais des Armées de terre et de mer, une petite chaudière marine, système Solignac, de 250 kg. à l'heure. Nous avons examiné dans le chapitre des générateurs en fonctionnement, avec beaucoup de détail, la chaudière qui était installée à l'usine La Bourdonnais pour concourir à la production de vapeur destinée au service de la force motrice. Nous n'y reviendrons pas, le dispositif employé dans la chaudière marine ne différant pas sensiblement de celui dont nous avons parlé.

Le dessin de la Pl. 35 donne les détails de construction de ce type spécial de chaudière. On voit que le ballon et les boîtes sont confondus en un seul et même récipient ; le fonctionnement est basé sur le même principe que celui de la chaudière de l'usine La Bourdonnais.

Le modèle destiné aux entreprises coloniales est transportable, léger, simple et sans maçonnerie. Ces générateurs ne possèdent pas de cendriers ;

on les établit sur des piles de briques, des chevalets, des roues, etc., suivant les besoins de l'installation, soit à terre, soit sur des embarcations. Ils s'appliquent spécialement aux petits tracteurs et, pour les numéros importants, aux bateaux de rivières. Leur faible poids, leur emplacement restreint et leur complète sécurité les désignent également pour les embarcations de plaisance.

Ce modèle se prête également bien à un emploi pour les petits postes électriques installés par des particuliers pour des éclairages d'une centaine de lampes ou la recharge des voitures électriques.

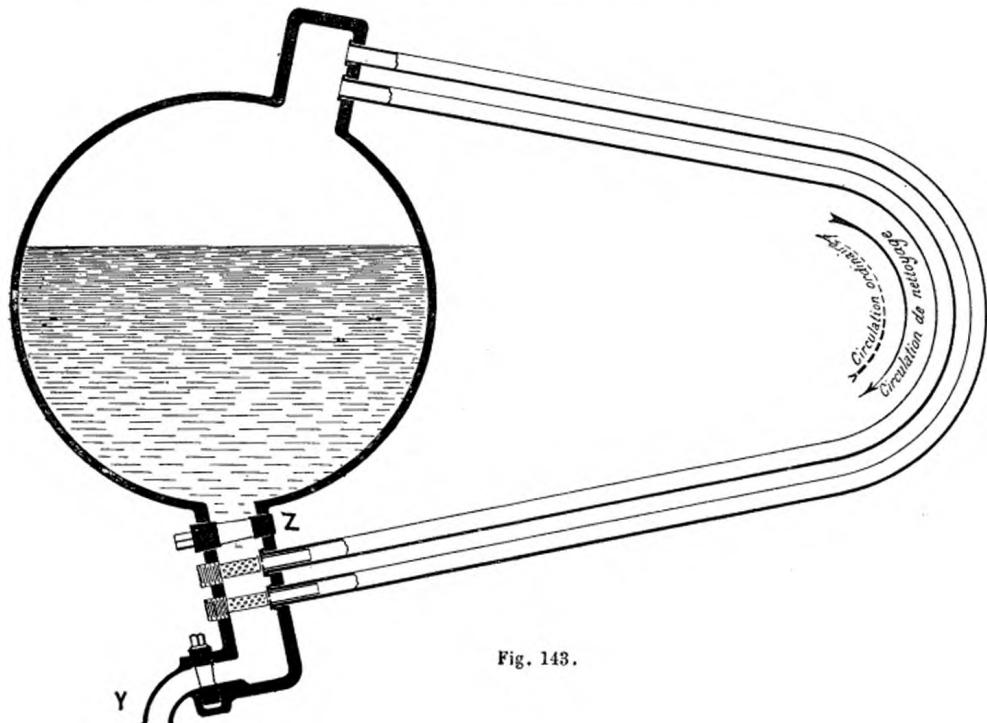


Fig. 143.

La chaudière à ballon central possède tous les perfectionnements du type à ballon supérieur ; elle donne de la vapeur sèche comme celle-ci. En effet, les entraînements d'eau sont généralement dus à une émulsion du plan d'eau quand il présente une surface insuffisante d'évaporation. Il se produit alors à la surface du plan d'eau un bouillonnement qui le fait s'élever jusqu'à la prise de vapeur, au sommet du dôme, comme du lait qui monte par ébullition.

Dans le générateur Solignac, cet inconvénient ne peut pas se pro-

duire, la masse d'eau servant simplement de volant et n'émettant de vapeur sur son plan d'eau que comme appont à celle qui est fournie par le faisceau tubulaire.

Le nettoyage et la suppression des boues et dépôts calcaires se font également, dans la chaudière à ballon central, pendant la marche, par chasse de vapeur. Le schéma (fig. 143) donne l'indication de la circulation dans ce cas. La boîte inférieure reçoit son alimentation du ballon à travers un robinet placé entre elle et ce ballon. Si on ferme le robinet Z et qu'on ouvre la purge Y, la circulation s'établit et la chasse s'opère dans les conditions analogues à celles que nous avons exposées pour le générateur à ballon supérieur.

Générateurs Turgan.

Les établissements Turgan et Foy, de Levallois-Perret exposaient dans la classe 19 une chaudière du système Turgan, dont nous donnons une reproduction *Pl. 36*.

Cette chaudière, à tubes de circulation intérieure, dérive du générateur Field; elle affecte la forme d'un prisme triangulaire dont l'arête supérieure est représentée par un collecteur horizontal, la base, par la grille du foyer et les faces, par les deux faisceaux des tubes.

Cette disposition présente sur les chaudières 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 rapide par suite de l'inclinaison très grande des tubes. Entre tous les desiderata à réaliser, les constructeurs cherchent à obtenir une circulation aussi bien conduite que possible, l'eau étant amenée au contact des parois exposées au feu et se vaporisant avec rapidité.

Mais une grande vaporisation entraîne par le même fait une grande combustion sur la grille du foyer; il en résulte que les appareils évaporatoires doivent pouvoir soutenir les fatigues produites par ce chauffage; les dilatations doivent donc s'effectuer librement.

M. Turgan pense également qu'il faut attacher une grande importance à la stabilité du plan d'eau intérieur. Par suite de leur très petit volume d'eau, les générateurs multitubulaires sont d'une conduite assez difficile; il est donc nécessaire de bien suivre les variations vraies du dégagement de la vapeur dans le collecteur ou de l'ébullition de l'eau contenue dans ce collecteur.

Il résume d'ailleurs de la façon suivante les différents points impor-

tants de l'étude d'un générateur : Donner à l'eau la meilleure circulation, réaliser une stabilité absolue du plan d'eau, obtenir de la vapeur sèche

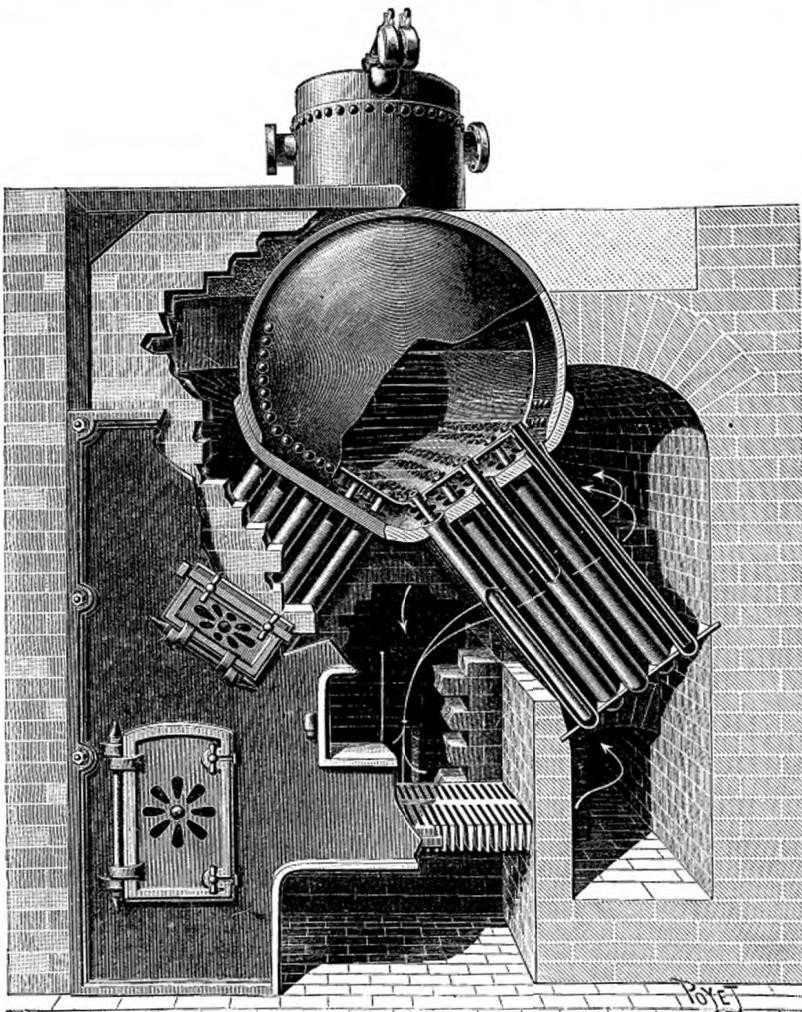


Fig. 144.

malgré une énorme production, laisser la dilatation des pièces se produire librement, rendre les nettoyages et démontages faciles et rapides, utiliser le mieux possible les gaz de la combustion, construire des appareils d'un poids et d'un encombrement aussi réduits que possible.

M. Turgan est parti d'une chaudière Yarrow dont les deux collecteurs

inférieurs seraient supprimés et dont les tubes seraient simplement fermés à leur extrémité inférieure par des bouchons protégés contre l'action du feu par un écran (fig. 144).

Il a disposé ensuite des tubes intérieurs aux premiers et un collecteur intérieur au collecteur supérieur, dans lequel viennent déboucher tous les petits tubes.

Un semblable appareil peut donner une bonne solution aux différentes questions exposées précédemment.

La circulation est aussi parfaite que possible, car l'alimentation se faisant exclusivement dans le collecteur intérieur, l'eau descend naturellement par les tubes intérieurs et proportionnellement à la quantité de vapeur produite.

Le plan d'eau d'alimentation est absolument stable, puisqu'il ne peut y avoir ébullition dans ce collecteur intérieur qui reçoit l'eau froide et qui n'est pas au contact direct du feu. En outre, la vapeur formée se dégageant en dehors de ce collecteur, l'eau qui y est enfermée se trouve ainsi à l'abri de toute perturbation.

La vapeur une fois formée ne traversant plus la masse d'eau contenue dans le générateur, on comprend que la vapeur produite soit très sèche et que les entraînements d'eau ne soient pas à craindre.

Comme les tubes sont tenus seulement par leur extrémité supérieure, il s'ensuit que leurs dilatations sont absolument libres et qu'ils n'éprouvent pas de fatigue même aux plus hautes intensités de chauffe.

Les nettoyages sont très faciles puisque les tubes sont droits, fermés par des bouchons et qu'il suffit de dévisser ces bouchons pour nettoyer sans démonter.

L'étanchéité du joint est assurée par un petit clapet appuyé sur un siège conique par le bouchon ; il a été également prévu d'autres dispositions réalisant, de même que dans le cas que nous venons de citer, des joints qui ne tournent pas. De plus, l'eau d'alimentation débouche dans un décanteur qui permet des extractions sous pression. D'ailleurs, la circulation est si active que la salissure des tubes est très peu appréciable, même après plusieurs mois de fonctionnement.

Les procédés de démontage sont de deux ordres suivant que l'on peut facilement accéder à l'intérieur du collecteur ou au contraire que le démontage doit être effectué de l'extérieur.

Dans le premier cas, on emploie un mode très connu analogue au joint Du Temple ; le tube porte un renflement conique serré dans un trou fraisé cône au moyen d'un écrou. Le serrage peut au contraire être

fait à l'extérieur de manière que les démontages soient possibles sans pénétrer dans l'intérieur. On pourrait évidemment venir simplement visser les tubes directement dans la plaque à tubes et même disposer un portage cône, mais, dans ce cas, il arrive souvent que le joint tourne.

Quant à la circulation des gaz chauds, pour la provoquer, il suffit de ménager des écrans de tubes convenables. Ces écrans peuvent être divers : il suffit de les prévoir pour protéger le plus possible les parois de la chaudière contre l'action des gaz chauds.

Toutes ces considérations permettent de se rendre compte de la disposition et du fonctionnement général des chaudières Turgan.

Sur ces bases, M. Turgan a établi trois séries d'appareils évaporatoires, que nous allons examiner successivement, savoir :

Générateurs de marine, générateurs fixes, générateurs pour la traction mécanique.

Générateurs de marine. — (Voir Pl. 37). Les générateurs de marine affectent plusieurs formes suivant leur destination ; si les appareils sont de faibles dimensions et embarqués sur des canots, des vedettes, le collecteur peut être en acier coulé 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 n'excédant pas 200 chevaux, il n'y a qu'un seul foyer, tandis que les générateurs de 500 chevaux 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.

Pour obtenir des modèles de 200 et 350 m² de surface de chauffe, il devient nécessaire de disposer trois foyers. Ces générateurs peuvent alors être très facilement substitués aux plus grandes chaudières cylindriques des transatlantiques. C'est ainsi que M. Turgan a étudié pour les nouveaux paquebots type *Lorraine*, de la Compagnie transatlantique, la transformation des appareils évaporatoires à pression de 11 kg. en générateurs de son système marchant sous une pression de 18 kg.

Cette transformation est d'ailleurs réalisée sans aucune modification dans le plan des navires. Les soutes, les chambres de chauffe, les cheminées, les ventilateurs subsistent dans leurs dispositions primitives.

Les générateurs Turgan se prêtent également bien à la disposition en doubles façades.

Les portes de foyers ne sont plus alors en bout, mais au-dessous des tubes, dont les bouchons sont ainsi franchement accessibles. Il est alors bon de disposer dans le plan diamétral de la chaudière plusieurs rangées de tubes verticaux qui viennent ainsi diviser le foyer en deux chambres de combustion symétriques. Un modèle de cette disposition était exposé au Palais de la navigation de commerce, et l'on pouvait se rendre compte du très faible encombrement d'un générateur qui ne mesurait pas moins de 325 m² de surface de chauffe.

En plus de leur faible encombrement, ces générateurs marines se distinguent par une très grande production obtenue avec beaucoup de facilité et sans fatigue pour les appareils.

Les générateurs de bateaux de commerce sont établis exactement 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 aussi large qu'il peut être nécessaire pour brûler du bois et l'ensemble de l'appareil peut se fractionner en colis dont le plus lourd ne pèse pas 100 kg.

Enfin, M. Turgan construit des appareils pouvant être alimentés avec de 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. — (Voir Pl. 36). Les générateurs Turgan, type fixe, conservent la même disposition générale que précédemment. Cependant, l'ensemble de la construction est plus simple et le retour de flammes est obtenu par des moyens différents.

Le plus souvent les tubes sont simplement tenus dans la plaque tubulaire par un cône légèrement forcé et leur extrémité inférieure est fermée. Mais il est évident que rien ne s'oppose, quand cela paraît préférable, à l'application des modes de fermeture des tubes que nous avons décrits précédemment, à propos des chaudières marines.

Le faisceau tubulaire est partagé dans le sens de la longueur par un mur transversal qui limite la grille d'une part et force, d'autre part, les gaz à parcourir la première partie du faisceau pour revenir traverser la seconde moitié avant de se rendre aux carreaux de 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.

Le fonctionnement de ce générateur est très sûr. La masse d'eau peut être aussi grande qu'il semble nécessaire et, par suite de la stabilité absolue du plan d'eau, la conduite de cette chaudière est aussi facile que celle des chaudières ordinaires.

La production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure peut atteindre normalement 25 kg. de vapeur à l'heure ; malgré l élévation de ce chiffre, le rendement est aussi bon que celui des chaudières multitubulaires.

Ce générateur permet donc de profiter de tous les avantages des chaudières multitubulaires ; hautes pressions, faible encombrement, etc. sans difficulté appréciable.

Générateurs pour la traction mécanique (voir Pl. 37). — Les établissements Turgan et Foy construisent également une chaudière à vapeur destinée à la traction mécanique. C'est un type spécial, 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 carreaux circulaires qui sont parcourus par les gaz avant leur évacuation à la cheminée.

Ce type de générateur pourrait être appelé 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 donné de si bons résultats que M. Turgan a construit également des générateurs type Field, ainsi améliorés, dont la virole circulaire est remplacée par une ligne de tubes écrans qui se touchent suivant une génératrice.

Avantages du système Turgan. — En résumé, les générateurs Tur-

gan présentent, au point de vue de la construction et de l'entretien, un certain nombre d'avantages particuliers.

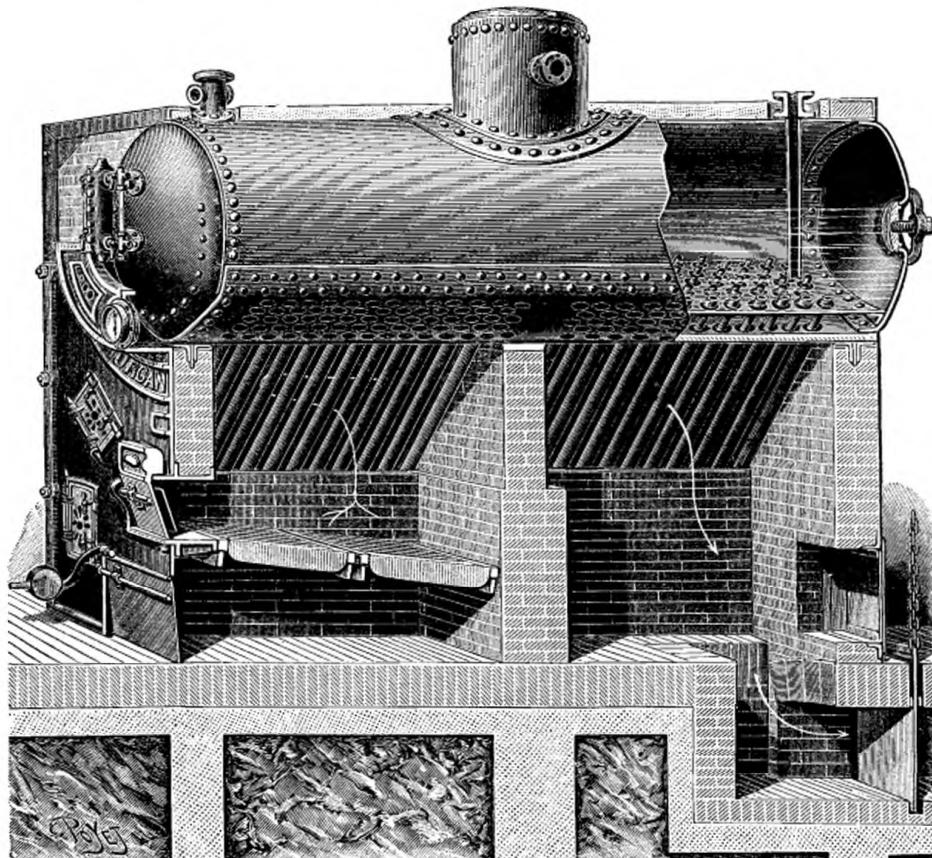


Fig. 145.

Les tubes sont droits ; quand les bouchons sont enlevés, ces tubes deviennent facilement accessibles et, par conséquent, facilement nettoyables, bien que la très grande circulation et le décanteur permettent d'espacer les nettoyages.

Les tubes sont individuellement démontables ; comme ils ne sont tenus que par une de leurs extrémités, ils se dilatent librement et les fuites ne sont pas à craindre.

Les réservoirs, même dans les petites chaudières, sont bien accessibles.

La chaudière, par ses dispositions mêmes, se prête à toutes variations de dimensions et peut se loger dans tous les emplacements, en raison

de l'élasticité de ses trois dimensions principales : longueur, largeur et hauteur.

Par suite de l'absence de parties planes, d'entretoises, par sa construction au moyen d'un corps et de tubes cylindriques, ce générateur permet d'atteindre les plus hautes pressions, 25 kg., par exemple.

Au point de vue du fonctionnement, ces appareils se prêtent, sans fatigue pour leurs organes, aux tirages les plus forcés. La circulation de l'eau est parfaitement guidée ; l'eau vaporisée dans chaque tube est amenée directement et forcément dans chacun de ces tubes, par le plongeur ; le niveau de l'eau est absolument fixe, le plan d'eau intérieur étant à l'abri de toute perturbation.

La disposition des tubes et du collecteur intérieur évite les entraînements d'eau et assure une production de vapeur sèche. L'utilisation de la chaleur est excellente et la mise en pression de la chaudière se fait très rapidement.

Enfin, ces générateurs peuvent être construits de toute puissance, depuis 1 m. de surface de chauffe jusqu'à 350 m² et plus. Ils sont étudiés pour les applications les plus diverses. Une chaudière à très faible volume d'eau, encombrant moins d'un mètre cube, timbrée à 20 kg., pesant 520 kg. et ayant une surface de chauffe de 11 m², produit de 900 à 1000 kg. de vapeur à tirage forcé, avec un rendement de 5 kg. 1/2 de vapeur par kilogramme de combustible. Mais un générateur fixe de 1000 kg., timbré à 20 kg., n'a pas moins de 45 m² de surface de chauffe et donne jusqu'à 10 kg. de vapeur par kilogramme de combustible.

Chaque type répond donc à une utilisation spéciale ; il peut et doit être construit en conséquence, mais le principe reste le même pour tous les appareils et les résultats obtenus jusqu'à ce jour confirment pleinement les prévisions de M. Turgan.

Générateur en X, système Borrot.

La société anonyme « Les chaudronneries du Nord de la France », dont le siège social est à Lesquin-lez-Lille, exposait, dans la classe 19, une chaudière multitungulaire en forme d'X, imaginée par M. Borrot.

Cette chaudière (fig. 146) comprend un réservoir cylindrique supérieur sur lequel les collecteurs viennent s'assembler suivant deux arêtes latérales symétriques, disposition qui permet de multiplier beaucoup le nombre des collecteurs. Les tubes vaporisateurs sont du type Field ; ils s'assemblent perpendiculairement, dans la paroi inférieure des collec-

teurs 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.

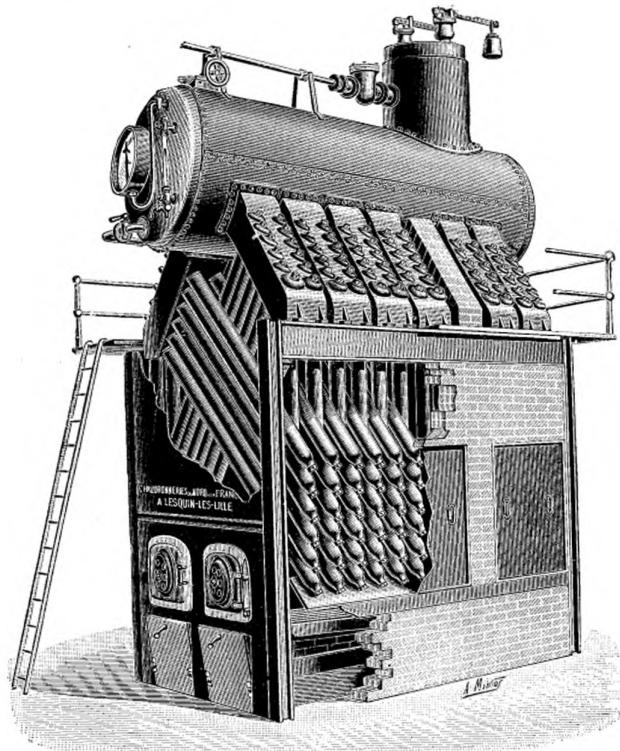


Fig. 146.

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, il occupe le minimum de surface horizontale et il est combiné pour donner à l'eau une circulation rationnelle et intensive. En même temps, les surfaces de chauffe ont des dispositions telles que nulle part il n'y a de dépôt de suie, et que les flammes ont un large et libre développement méthodique.

Collecteurs. — Les collecteurs de vapeur ont un mode de liaison à

la chaudière tout particulier. Jusqu'ici on avait fait les jonctions par bagues en fer dudgeonnées, par bagues biconiques serrées au moyen de boulons ou de prisonniers, par boîtes de raccord rôdées maintenues avec un étrier ou, enfin, par un joint ordinaire à emboîtement. Ces différents systèmes obligeaient à timbrer à nouveau la chaudière chaque fois que l'on touchait à l'un de ces joints.

Dans la chaudière en X, au contraire, le timbrage étant fait aux ateliers, avant l'expédition, on peut remonter entièrement le générateur, changer ou interchanger les pièces, sans avoir besoin de le livrer à un nouvel essai hydraulique, car tout est autoclave. Le collecteur ne présente aucun étranglement, ni pour l'eau, ni pour la vapeur, au point de jonction ; toutes deux conservent la section entière qui existe le long du collecteur ; les bulles ne sont donc pas obligées de se souder les unes aux autres en formant de gros ballons.

Dans la branche supérieure de l'X se trouvent des tubes surchauffeurs-sècheurs de vapeur, puis, les gaz chauds se rendent dans une seconde série de tubes en X, à l'arrière, et en dernier lieu, 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 rendement en vapeur par kilogramme de houille brûlée.

Circulation de l'eau. — La chaudière en X offre les meilleures garanties d'une circulation active et régulière. La distribution du calorique s'opère uniformément entre les diverses rangées de tubes ; la dernière reçoit encore un peu du rayonnement direct et, de plus, elle est avantageée par l'écran de briques réfractaires qu'elle supporte et par le cheminement longitudinal des flammes au contact de cet écran.

Le vaporisateur Field a donné lieu parfois à des critiques, parce qu'il n'avait pas l'inclinaison convenable. Quand il est placé verticalement, il reçoit en pointe tout l'effet du rayonnement ; or, c'est le point où les dépôts peuvent se faire par suite du remous dû au changement de direction de l'eau. De plus, les bulles engendrées en pointe se présentent devant l'orifice du tube central et contrarient l'arrivée d'eau.

Quand il est peu incliné sur l'horizontale, ce même vaporisateur qui possède encore sa pointe dans la flamme, voit les bulles de vapeur cheminer continuellement le long de l'arête supérieure ; celle-ci se trouve alors mal refroidie et mal utilisée comme transmission de la chaleur.

Dans la chaudière en X, les pointes des tubes sont hors du rayonnement direct et les bouchons de nettoyage sont accessibles en tout temps, sans nécessiter le refroidissement des maçonneries ; le nettoyage est facile et le contrôle de ce nettoyage s'obtient sans difficulté.

Dans les tubes mêmes, comme l'inclinaison est supérieure à 45°, les bulles de vapeur cheminent en anneaux complets et réalisent le phénomène d'émulsion. La succession des pistons d'eau et des anneaux de vapeur constitue une colonne émulsionnée dont la force ascensionnelle est considérable ; il en résulte un énergique appel de l'eau par le tube central et une circulation intensive qui a pour conséquence immédiate une excellente vaporisation par mètre carré de surface de chauffe, puisque l'absorption des calories dépend en première ligne de la vitesse de circulation de l'eau au contact de la paroi ; en même temps, cette vitesse entretient le tube dans un parfait état de propreté.

Circulation des gaz. — 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, sans inconvenient, de pousser l'allure des feux par un tirage forcé.

Les flammes pénètrent facilement entre les rangées de tubes pour cheminer ensuite dans le sens de la longueur de ceux-ci. Puis, à l'intersection des branches de l'X, il y a un rétrécissement qui oblige les gaz à prendre un contact intime avec les tubes et les force à abandonner la presque totalité de leur calorique. Dans cet endroit, l'enchevêtrement des tubes produit aussi des remous dans les gaz pour compléter leur combustion.

La grande inclinaison des tubes empêche la suie d'adhérer à leur surface car la pente est supérieure au talus d'éboulement. Dans l'intervalle compris entre les collecteurs, on peut à volonté regarder si les tubes sont bien propres et exempts de suie.

Sécheresse de la vapeur. — La sécheresse de la vapeur dépend en premier lieu des sections de dégagement données aux bulles, car les étranglements dans les connexions réunissent les bulles en gros ballons de vapeur dont l'afflux provoque des soulèvements de la masse liquide. La chaudière en X donne à l'origine du collecteur une section de passage qui est égale à plus de la moitié de la totalité des sections des tubes vaporiseurs. En outre, un système d'écrans intérieur, en tôle, oblige les quelques projections d'eau à retomber à la surface du liquide.

Le réservoir supérieur a un plan d'eau très étendu, ce qui évite les

entraînements; de plus, la chaudière possède un surchauffeur-sécheur de vapeur logé dans la partie supérieure de l'X.

Réchauffeur d'eau d'alimentation. — Quand aucune disposition ne permet d'assurer de l'eau chaude pour l'alimentation, on place un réchauffeur tubulaire dans la branche inférieure arrière de l'X, avant le départ des gaz vers la cheminée.

Ce réchauffeur est composé d'une batterie de tubes Field horizontaux, en quinconces, montés sur un chariot en fer. L'eau entre à 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 robinets à trois voies, de façon à permettre l'alimentation directe dans le 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 donc constitué par des tubes en fer; on les nickèle intérieurement et extérieurement pour éviter les corrosion habituelles. Protégés par le nickel, ces tubes ne gardent pas la suie et donnent assez de légèreté pour constituer un ensemble assez maniable.

Incrustations. — Des dispositions efficaces sont prises pour que les précipités calcaires soient localisés aux endroits où les coups de feu ne sont pas à craindre. L'eau qui sort du réchauffeur arrive dans un petit auget placé dans la chambre de vapeur, puis elle déborde en prenant la température du milieu. Les sels de chaux forment des précipités cristallins, abondants et lourds, non adhérents aux parois; des chicanes retiennent ces sels à la partie arrière du réservoir et on peut faire une purge de temps à autre pour les extraire.

La partie avant, où sont les tubes de coups de feu, ne reçoit que de l'eau décantée et purifiée. D'ailleurs, la rapidité de la circulation empêche la formation des dépôts dans les tubes avant ou arrière.

Avantages généraux. — Les collecteurs de vapeur, et par conséquent les joints des tubes vaporiseurs sur les collecteurs, ne sont pas exposés au rayonnement du foyer. Il y a donc certitude de ne jamais donner naissance à des fuites, de brûler ou de détériorer des collecteurs.

Toutes les parties chauffées peuvent se dilater en toute indépendance, ce qui rend l'entretien peu onéreux. Le remplacement des tubes s'opère très facilement, sans qu'il soit nécessaire de vider totalement le générateur et de pénétrer dans le foyer. Si un tube vient à fuir, on s'en rend compte exactement pour le remplacer, puisque tous les tubes sont visibles dans toute leur longueur pendant la marche même de la chaudière.

TROISIÈME PARTIE

APPAREILS ACCESSOIRES DES GÉNÉRATEURS

CHAPITRE VI

SURCHAUFFEURS ET ECONOMISEURS

Surchauffeurs.

L'emploi de la vapeur surchauffée semble devoir entrer prochainement dans une période d'application définitive, si on en juge par les nombreux appareils qui ont été présentés à l'Exposition de 1900 pour obtenir pratiquement la surchauffe de la vapeur au moyen d'appareils spéciaux adaptés aux générateurs.

A l'usine Suffren, la maison Berninghaus avait placé deux surchauffeurs, système Hering, sur sa batterie de chaudières et fournissait, dans les conduites du service de la force motrice, la vapeur à une température de 230°. D'autres appareils figuraient à l'état inerte dans les installations de plusieurs exposants de la classe 19, et quelques constructeurs de chaudières (Steinmüller, Fitzner et Gamper, Petry-Dereux, etc.) montraient, sur des modèles réduits ou sur des dessins appropriés, l'application des surchauffeurs à leur type de générateur.

Les travaux du physicien Hirn ont démontré d'une manière absolue l'importance des pertes dues aux phénomènes d'échange de chaleur entre la vapeur et les parois des conduites ou des cylindres; ce sont les condensations initiales et autres, sur lesquelles nous ne reviendrons pas ici. Depuis longtemps, on a cherché à diminuer ces pertes en employant le calorifuge, pour les conduites de vapeur, et les enveloppes pour les cylindres; mais, dans ce dernier cas surtout, la solution reste

très incomplète et, depuis de longues années, il a été reconnu que pour réaliser les conditions de marche parfaite d'une machine à vapeur, il fallait surchauffer suffisamment pour que la vapeur du cylindre, à la fin de la détente, se trouve à l'état de vapeur saturée sèche.

A ce moment, les difficultés de construction d'un réchauffeur pratique n'étaient pas encore résolues. De plus, les huiles et graisses organiques, employées exclusivement, se décomposaient sous l'influence des hautes températures et leur disparition entraînait des grippements aux cylindres. Il n'en est plus de même aujourd'hui avec l'emploi des huiles minérales qui peuvent supporter les températures élevées, sans la moindre décomposition, et les appareils de surchauffe qui ont été exposés semblent répondre aux exigences de l'industrie, au point de vue de la construction et de l'effet utile.

Surchauffeur Schwörer.

Monsieur Emile Schwörer, ingénieur à Colmar (Alsace), qui fut pendant dix ans secrétaire particulier de M. Hirn, a longuement étudié la question de la surchauffe, et l'a résolue d'une façon heureuse, en réduisant au minimum les dimensions de son appareil, tout en augmentant sa résistance à la chaleur.

Le surchauffeur Schwörer se compose d'éléments en fonte, à surfaces multiples, les unes extérieures pour mieux absorber la chaleur des gaz et de la fumée provenant du foyer de la chaudière, les autres intérieures, pour offrir à la vapeur qui circule dans ces éléments la plus grande surface possible à l'échauffement (fig. 147 et 148).

C'est grâce à ces dispositions que l'appareil est devenu relativement petit; de plus, le volume du métal de chaque élément étant considérable, la masse métallique agit comme volant de chaleur et comme régulateur de la température de surchauffe.

Les faisceaux de ces tubes de fonte ainsi constitués forment une sorte de serpentin que parcourt la vapeur prise sur le dôme de la chaudière avant d'aller rejoindre la conduite principale de la machine.

Les joints des tubes sont faits au moyen d'une bague tournée en acier doux et de mastic de fonte d'une composition spéciale, appliquée à l'état pâteux entre les surfaces annulaires serrées ensuite par des boulons. Ce joint présente une résistance parfaite à la chaleur et tout l'ensemble peut se dilater librement.

Les tuyaux, avant leur mise en marche, sont essayés à la presse à des

pressions supérieures de 20 à 30 kg., à celle à laquelle on doit travailler.

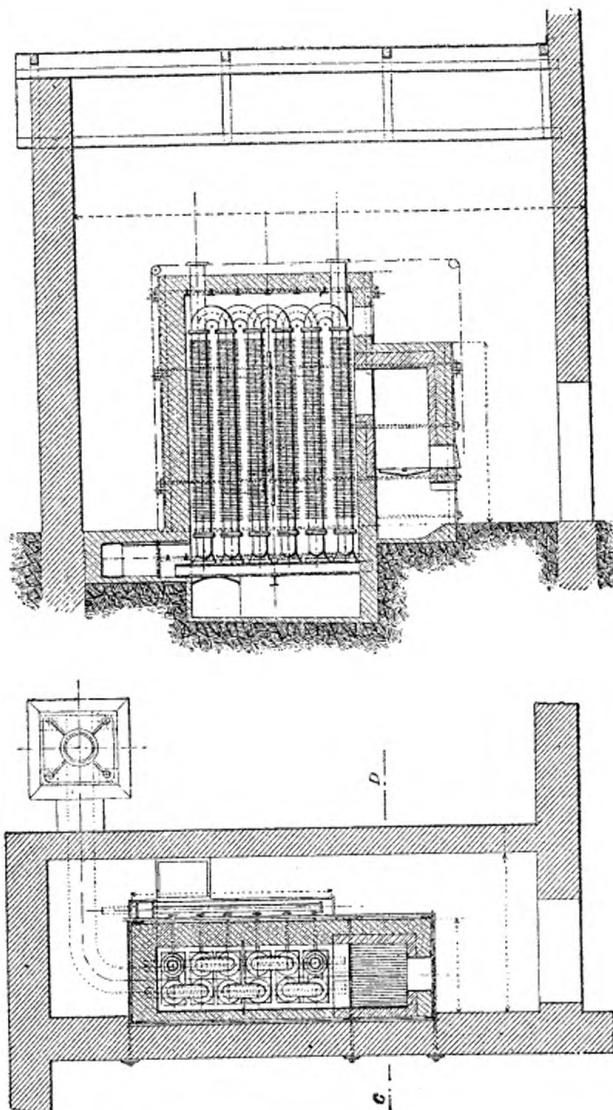
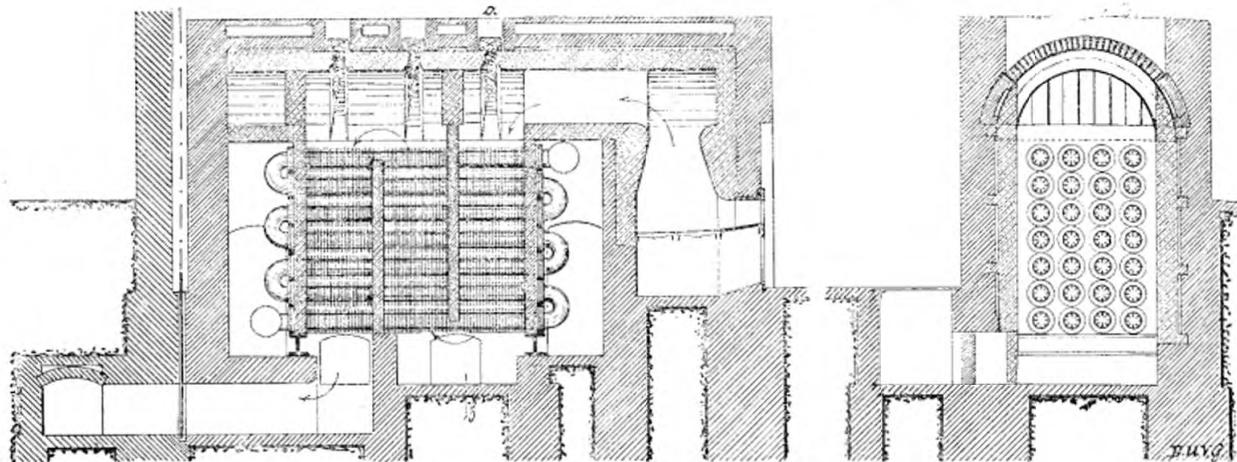


Fig. 147. — Surchauffeur Schwærer.

Les modes de chauffage varient suivant les types de chaudières qui reçoivent le surchauffeur (fig. 149 à 151).

Dans les usines de l'Est, où les chaudières sont en majeure partie du type à bouilleurs, les tubes sont placés horizontalement dans les carreaux, sous les bouilleurs. L'ouverture par laquelle les gaz chauds

s'élèvent dans le carneau du corps de la chaudière est, dans la plupart des cas, fermée par un registre. C'est après avoir circulé autour du



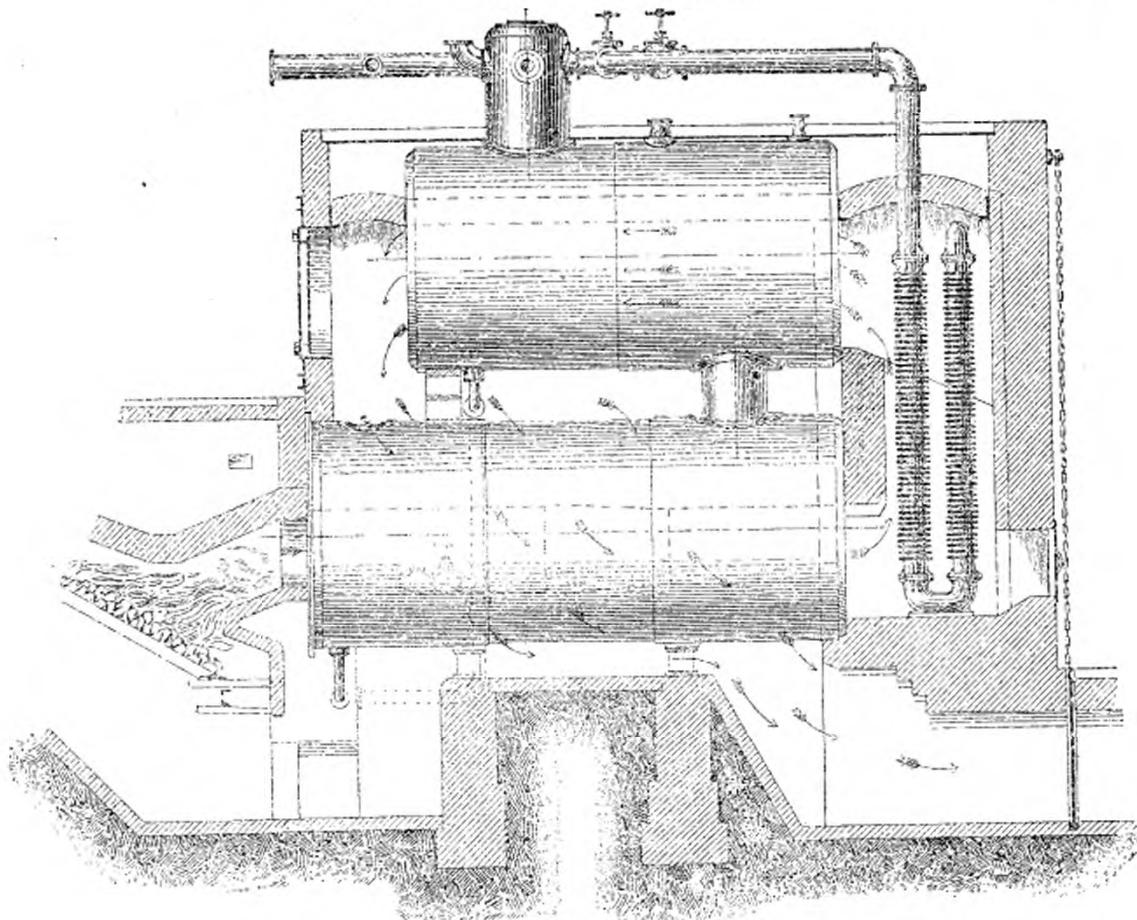


Fig. 450.

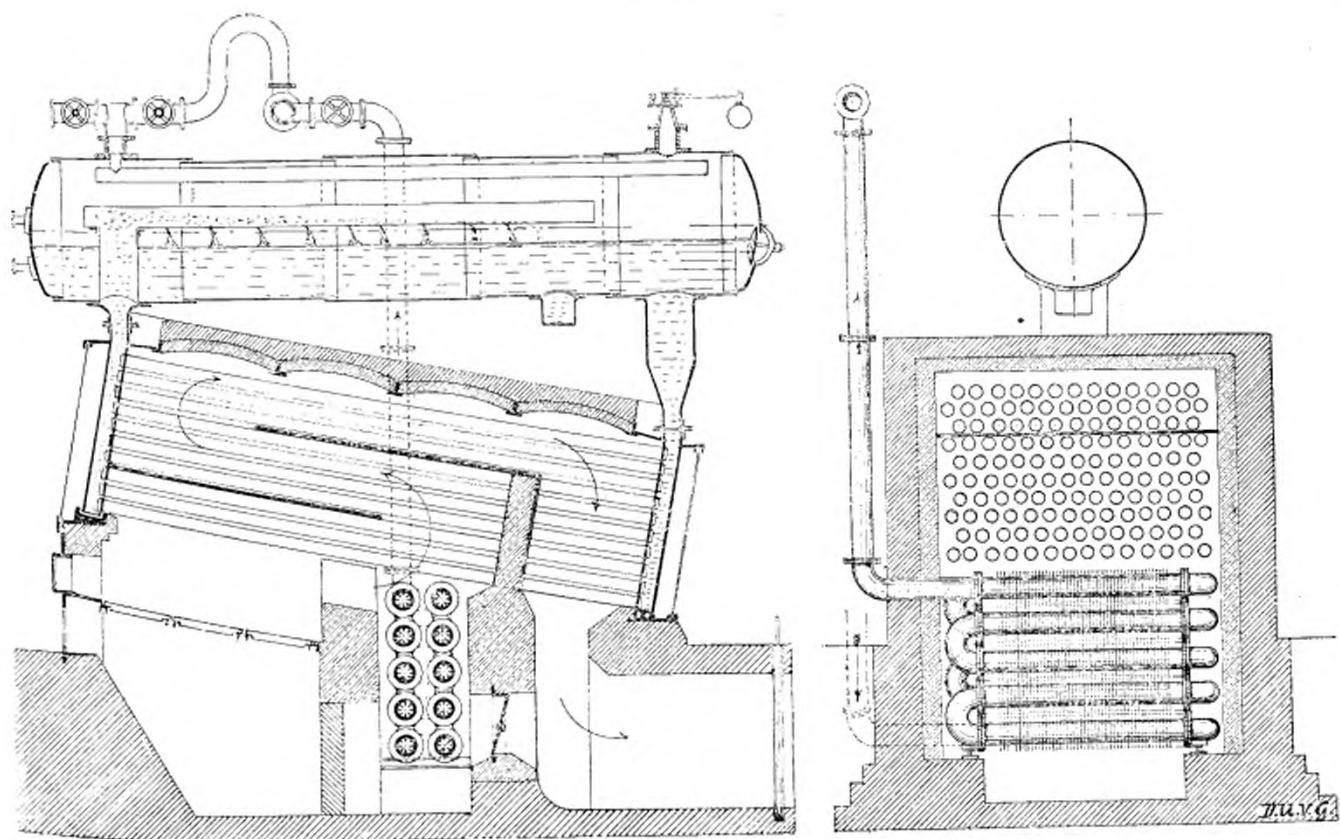


Fig. 451.

Dans ce cas, les tubes sont généralement placés verticalement, de façon à permettre leur libre dilatation, et séparés du foyer par une cloison destinée à les garantir du coup de feu direct (fig. 147).

Le foyer de ce surchauffeur est un foyer dit à longue durée, c'est-à-dire qu'une fois ce foyer chargé, le chauffeur n'a plus à s'en occuper pendant plusieurs heures. Un régulateur de température peut être appliqué à cet appareil, afin de rendre constante et uniforme la température de la vapeur surchauffée.

Résultats d'essais. — Le surchauffeur Schwoerer est aujourd'hui consacré par une longue pratique industrielle. Son emploi a donné lieu à des résultats économiques remarquables, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte par les nombreux essais exécutés sous la direction de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. L'énumération de ces essais serait un peu longue; nous nous bornerons à reproduire ci-dessous les plus concluants.

1^o *Essais effectués à la filature de Horsbourg, près Colmar.* — La batterie de chaudières se composait de quatre générateurs à bouilleurs pourvus d'un réchauffeur Green de 168 tubes.

Pour la marche *avec surchauffe*, on a employé deux chaudières ayant une surface de chauffe totale de 91^{m²},40 et une surface de grille de 4^{m²},34.

Pour la marche *sans surchauffe*, il fallut leur adjoindre une troisième chaudière, la machine n'arrivant pas à son nombre de tours normal, ce qui porta la surface de chauffe à 138^{m²},10 et la surface de grille à 6^{m²},51.

La houille employée était de provenance belge et contenait 70/0 d'eau.

La machine était du type vertical Wolf à balancier.

Les tableaux suivants donnent les résultats comparatifs de la marche avec surchauffe et de la marche sans surchauffe.

1^o Chaudières

	MARCHÉ avec SURCHAUFFE	MARCHÉ	MARCHÉ
		avec SURCHAUFFE	sans SURCHAUFFE
Brûlé brut pendant l'essai, allumage compris	kg	3 292	4 430
Scories et cendres, poids total	kg	470	704
Id. pour 400 kg de houille	kg	14,4	43,9
Houille pure	kg	2 792	3 726
Durée de l'essai		41 ^h	41 ^h 40
Brûlé brut, par heure et par mètre carré de surface	kg	3,23	2,87
de chauffe	kg	68,25	60,95
Production de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe	kg	23,50	48,03

2^o Machines

		MARCHE avec SURCHAUFFE	MARCHE sans SURCHAUFFE
Puissance moyenne indiquée en HP	ch	276,22	277,59
Consommation par cheval indiqué-heure, vapeur kg		7,77	8,96
Id. id. (allumage compris) houille brute kg		4,073	4,429
Id. id. id. houille pure kg		0,918	1,202

Dans cet essai, l'économie de houille, due à l'emploi de la vapeur surchauffée qui arrivait au petit cylindre à la température de 222°, a donc été :

$$(1429 \text{ kg} - 1073 \text{ kg}) = 0^k,356, \text{ soit } 24,9 \text{ \%}$$

2^o Usine Koechlin à Massevaux. — La batterie se composait de trois chaudières à bouilleurs, munis de surchauffeurs Schwoerer, avec réchauffeur Green de 192 tubes et deux réchauffeurs ordinaires de 23 m², ce qui représentait une surface de chauffe productrice de 106^{m²},50 et une surface de chauffe totale de 321^{m²},50, pour une surface de grille de 5^{m²},34.

Le premier jour d'essai a été consacré à la marche avec surchauffe; le jour suivant, on a travaillé sans surchauffe, avec le secours obligé d'une quatrième chaudière, ce qui porte la surface de chauffe totale à 364^{m²},80 et la surface de grille à 7^{m²},39.

La machine était une Corliss neuve et la houille provenait de Ronchamp.

1^o Chaudières

		MARCHE avec SURCHAUFFE	MARCHE sans SURCHAUFFE
Brûlé brut pendant l'essai, allumage compris	kg	3 839	4 828
Scories et cendres, poids total	kg	680	826
Id. pour 400 kg de houille	kg	47,70	47,40
Houille pure	kg	3 439	4 002
Durée de l'essai		41 ^h 30	41 ^h 30
Brûlé brut, par heure et par mètre carré de { de chauffe kg		3,43	2,80
surface.	kg	62,60	56,56
Production de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe	kg	20,71	47,90

2^e Machines

		MARCHE avec SURCHAUFFE	MARCHE sans SURCHAUFFE
Puissance moyenne indiquée en HP	ch	308,87	310,27
Consommation par heure et cheval indiqué, vapeur kg		7,436	8,644
Id. houille (allumage compris), poids brut. . . . kg		4,080	4,353
Id. id. id. poids net . . . kg		0,889	4,421

Dans cet essai, l'économie résultant de la surchauffe de la vapeur, arrivant à 221°,5 dans la machine, a été de 17,41 0/0 en vapeur, et de 20,69 0/0, en houille pure.

Surchauffeur Steinmüller.

Le surchauffeur du système de MM. L. et C. Steinmüller, constructeurs à Gummersbach (Allemagne), comprend une chambre divisée en deux ou plusieurs parties, dans laquelle sont placés de nombreux tubes en fer forgé, recourbés en forme d'U et d'un diamètre très faible (fig. 152).

La vapeur saturée arrive de la première partie de la chambre, dans les tubes qui sont enveloppés par les gaz chauds ; elle y est surchauffée et passe dans la deuxième partie pour se rendre ensuite dans la conduite principale de distribution.

Un dispositif breveté oblige la vapeur à se répartir uniformément dans chacun des tubes et diminue sa vitesse de circulation à travers le surchauffeur. La vapeur ayant besoin de séjournier quelque temps dans les tubes pour absorber une certaine quantité de chaleur, on évite ainsi une grande surface de chauffe, qui devient nécessaire lorsque la vapeur est chassée avec une grande vitesse dans l'appareil.

De plus, dans les tubes à grand diamètre, l'absorption de la chaleur est moins complète, la vapeur ne touchant les parois de ces tubes que par sa couche extérieure. Dans le surchauffeur Steinmüller, la vapeur se divise dans les tubes en un grand nombre de jets très minces, de sorte que toutes les particules sont continuellement en contact intime avec les parois chauffées ; il en résulte un surchauffage rapide, encore accru par le passage lent de la vapeur qui permet alors l'emploi de petites surfaces de chauffe.

Le surchauffeur Steinmüller est donc d'une très grande puissance sous un faible volume. Les tubes autour desquels circulent les gaz chauds sont construits en fer forgé et polis; ils reçoivent la vapeur fraîche et le surchauffeur n'a aucune pièce facilement détériorable, ce qui garantit la sécurité absolue.

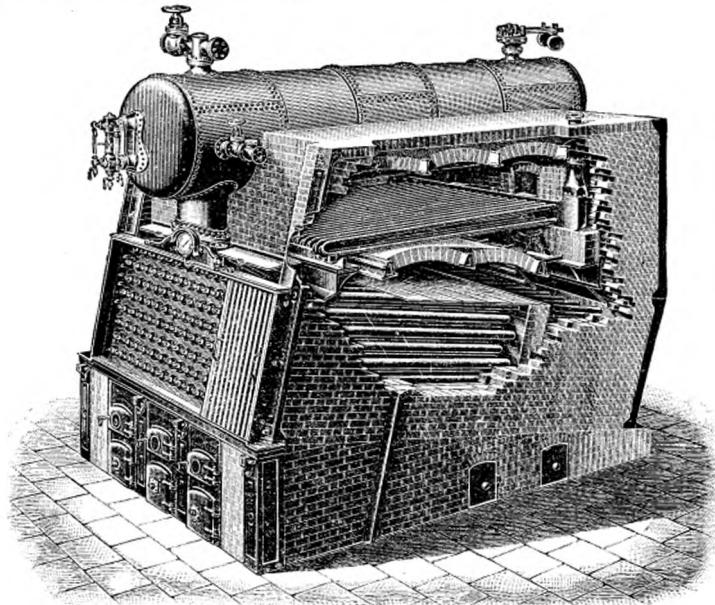


Fig. 452.

Chaque fois qu'il est nécessaire, le surchauffeur est pourvu d'un dispositif spécial pour le réglage exact de la température. Il peut être adapté à tous les systèmes de chaudières, sans exiger un grand emplacement et une dépense excessive. Construit pour chauffage direct ou indirect, il donne d'excellents résultats pour des pressions s'élevant jusqu'à 20 atmosphères.

Dans la première partie de cet ouvrage (Générateurs en fonctionnement), nous avons relaté les essais qui ont été faits par le Comité de surveillance des chaudières de la Silésie, à la fabrique de papier de MM. Emile Cohn et C^{ie}, à Friedland, en juillet 1899, avec de la vapeur *surchauffée* provenant de chaudières et de surchauffeurs Steinmüller, pour le fonctionnement d'une machine horizontale Compound à condensation.

Nous rappellerons simplement qu'il est résulté de l'emploi des appareils Steinmüller une économie de vapeur de 16,7 0/0 et de combustible, de 16,2 0/0, grâce au surchauffage de la vapeur.

Surchauffeur Petry-Dereux.

Le surchauffeur Petry-Dereux est du même genre que l'appareil Steinmüller ; il est construit avec des tubes à fortes parois et à faible section (fig. 153).

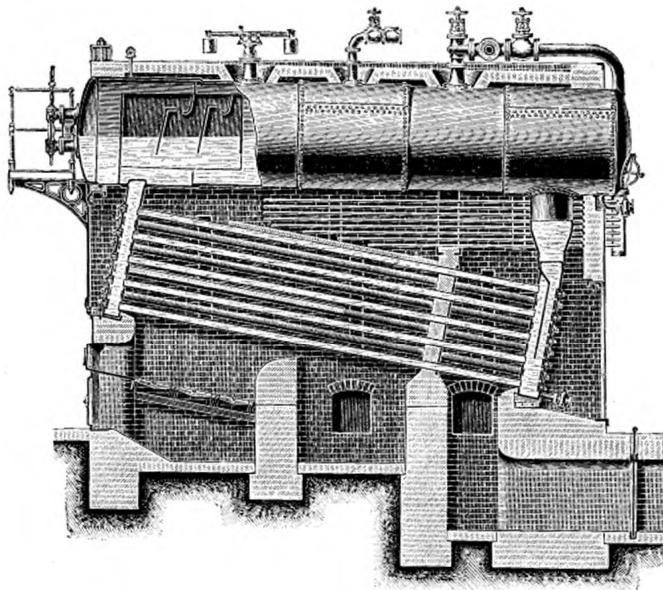


Fig. 153.

Ces tubes sont courbés en serpentin et débouchent dans des caissons, de sorte que la vapeur est forcée de traverser les uns après les autres les divers faisceaux tubulaires. L'installation est solide, simple et d'une surveillance facile.

Les tubes ont une dilatation entièrement libre, et il n'y a aucun raccord ou joint exposé au feu.

Le surchauffeur Petry-Dereux peut s'appliquer à toutes les chaudières. On le construit également pour chauffage direct.

Surchauffeur Hering.

Nous avons dit dans un chapitre précédent que deux chaudières Berlinghaus et une chaudière Fitzner et Gamper, qui fonctionnaient à l'usine Suffren, étaient munies de surchauffeurs du système Hering.

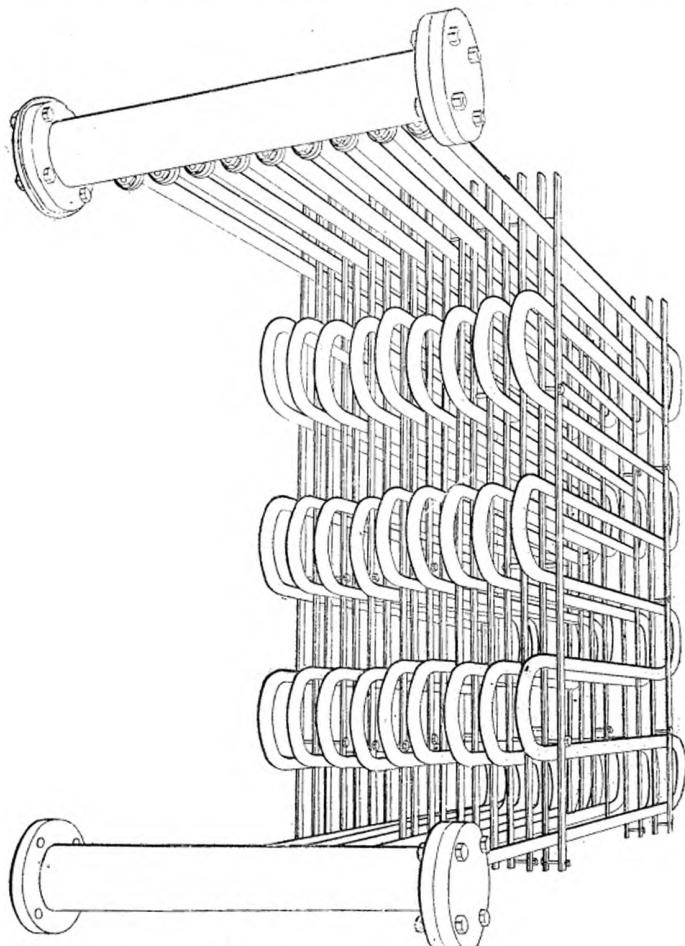


Fig. 434.

L'un des dessins relatifs à ces générateurs (*Pl. 12*) donne même la disposition du surchauffeur sur la chaudière elle-même.

De plus, un appareil Hering était exposé, à l'état inerte, au pied de la cheminée monumentale de l'usine Suffren.

Le surchauffeur se compose d'un certain nombre de tubes en acier, sans soudure, repliés en serpentins et ayant au besoin une longueur de 25 à 30 m, pour un diamètre de 30 à 40 mm. Ces tubes reposent sur des traverses reliées à des tringles ; le faisceau tout entier est placé dans la maçonnerie du générateur, et les collecteurs des extrémités passent dans des tuyaux concentriques qui permettent la libre dilatation de l'ensemble (fig. 154).

Le nombre des points se trouve réduit au minimum puisqu'il n'en existe qu'à la jonction du serpentin tubulaire avec les deux collecteurs d'entrée et de sortie de la vapeur. Ces joints sont placés en dehors de l'action des flammes ou des gaz chauds ; leur accès est très facile et rend l'entretien de l'appareil à peu près nul.

La construction même du surchauffeur permet de donner aux tubes du serpentin une section totale notablement plus grande que celle des collecteurs, de façon que la vapeur, déjà divisée en filets très minces, soit animée d'une vitesse très faible.

On obtient ainsi un séchage plus parfait de la vapeur et une utilisation complète de la chaleur perdue des gaz, pour la surchauffe.

Ces appareils sont construits pour le chauffage indirect ou pour le chauffage direct.

Dans le premier cas, le serpentin est placé entre les carreaux de la chaudière et la cheminée et ne nécessite aucun aménagement spécial.

Dans le second cas, réservé aux installations importantes, le surchauffeur est muni d'un foyer spécial.

Le chauffage indirect est le plus employé et l'appareil peut s'adapter à tous les types de générateurs avec beaucoup de facilité.

L'ensemble du faisceau tubulaire est divisé en plusieurs sections munies chacune d'une vanne que l'on manœuvre de l'extérieur pour ouvrir ou fermer, à volonté, le passage des gaz chauds dans la section correspondante. Les vannes permettent, en outre, de régler la température de la surchauffe et d'isoler complètement l'appareil sans qu'il soit nécessaire d'arrêter le générateur.

Les collecteurs portent les soupapes de sûreté, destinées à éviter toute contre-pression dans les tubes, et les thermomètres utiles pour la lecture des températures.

Installation et entretien. — Le surchauffeur Hering est d'une installation facile et peu coûteuse, pour l'adaptation aux chaudières, en

raison de sa construction même et de l'encombrement restreint qu'il occasionne.

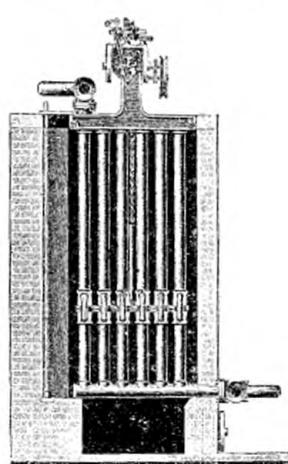
Le faisceau de tubes peut être aussi resserré que possible, en assurant ainsi une grande surface de chauffe sous un faible volume.

Par suite du petit diamètre des tubes, les dépôts de suie et de cendres sont peu importants, de sorte que la transmission de la chaleur des gaz à la vapeur reste sensiblement constante et que le rendement de l'appareil est toujours le même.

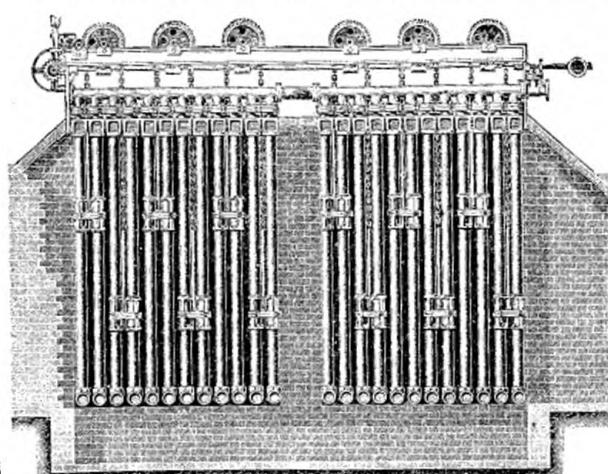
Enfin, le surchauffeur ne se composant que de trois pièces uniques, sans joints exposés aux gaz, il ne nécessite d'autre entretien que celui des joints des tubes avec les collecteurs. Cette jonction est faite en dehors du fourneau ; elle permet donc une surveillance continue qui donne toute sécurité pour le fonctionnement du surchauffeur.

Economiseur Green.

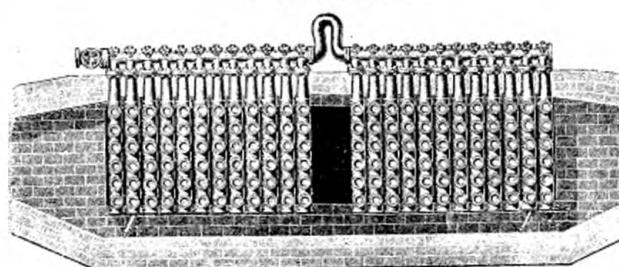
L'économiseur de MM. Green, constructeurs à Manchester (Angleterre), se compose d'un nombre indéterminé de rangées de tubes en



Coupé transversale.



Coupé longitudinal.



Plan.

Fig. 455.
Economiseur Green.

fente, de 12 cm de diamètre et 2^m,700 de longueur, reliés ensemble, par le bas et par le haut, à des tubes transversaux (fig. 455). Ces tubes se raccordent aux tubes d'alimentation qui longent l'économiseur aux deux côtés opposés, situés en dehors de la maçonnerie renfermant l'appareil. A défaut de place, les tubes d'alimentation sont posés sous l'appareil.

Les gaz qui s'échappent des carneaux de chaudières s'introduisent dans l'économiseur par l'intermédiaire de la gargouille placée entre les chaussées et la cheminée.

L'eau d'alimentation entre dans l'économiseur à la partie inférieure, à la sortie des gaz, de la même manière que dans la chaudière, par une pompe ou par un injecteur, et elle sort à la partie supérieure, du côté opposé.

Chaque tube est pourvu d'un couvercle conique, alésé et tourné, exempt de chanvre ou de mastic au minium.

Le même procédé est employé pour la construction des pièces transversales, dont les raccords sont faits au moyen d'une pression de métal contre métal, par l'intermédiaire d'une puissante machine réservée à cet usage.

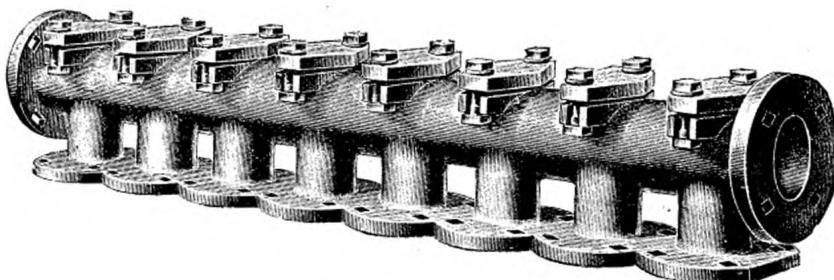


Fig. 456. — Tuyau de communication avec couvercles d'accès.

Des râcloirs-nettoyeurs perfectionnés, composés de pièces détachées suspendues librement par le milieu, et ayant un tranchant très dur, fonctionnent continuellement contre les tuyaux, afin d'empêcher l'accumulation de la suie, mauvaise conductrice de la chaleur.

Une transmission fait manœuvrer les râcloirs, au moyen de tiges et de chaines en fer qui passent à travers de petites ouvertures, à la partie supérieure de l'appareil ; elle est actionnée directement par un engrenage et la force motrice nécessaire est peu importante.

Pour la fabrication des tubes, on emploie le meilleur fer « écossais »

et « hématite » ; ces tubes sont fondus verticalement dans des moules de sable sec, garantis d'égale épaisseur, exempts de toute défectuosité et soumis à une pression de 44 atmosphères.

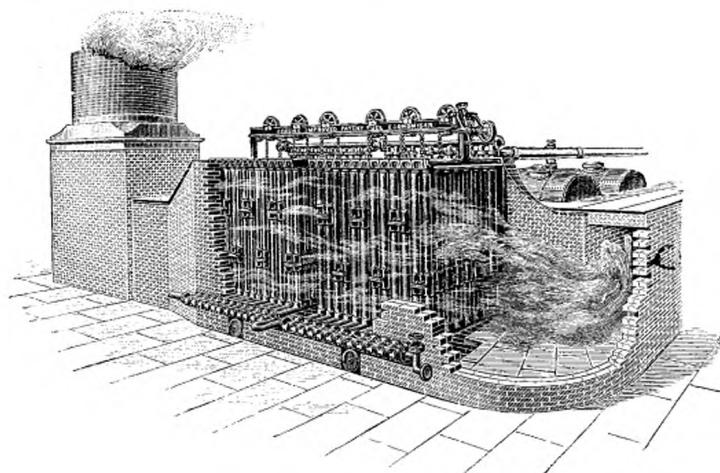


Fig. 437.

L'appareil est muni d'une soupape de sûreté et d'une soupape de purge. Son installation ne cause aucun arrêt dans la marche, et toutes

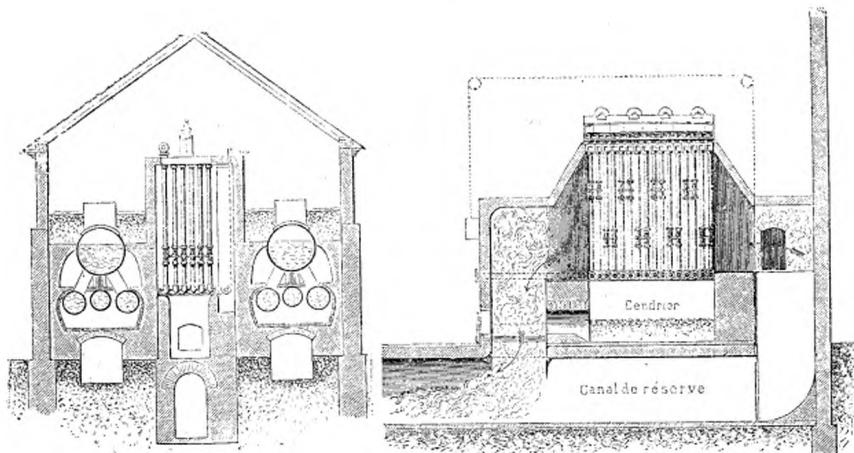


Fig. 438.

les pièces mobiles sont facilement visitables sans qu'il soit nécessaire de démolir la maçonnerie (fig. 437 et 438).

Les ateliers possèdent toujours un stock disponible de toutes les parties constituant l'appareil, de façon à permettre, en cas d'avarie grave, le remplacement d'un ou de plusieurs tubes en très peu de temps.

L'emplacement nécessaire pour l'installation d'un économiseur, varie de la façon suivante :

Un économiseur de 4 tubes, dans la largeur, occupe un espace de 1 m.				
id.	de 5	id.	id.	de 1 ^m ,220
id.	de 6	id.	id.	de 1 ^m ,420
id.	de 8	id.	id.	de 1 ^m ,820
id.	de 10	id.	id.	de 2 ^m ,240

Des registres, fixés de côté, sont suffisamment espacés pour qu'un homme puisse s'y glisser entre l'appareil et la maçonnerie ; il suffit alors d'ajouter à la largeur précédente, 23 cm. Dans le même but, on peut avoir un passage au milieu de l'appareil.

Avantages de l'Appareil. — Il est admis, en général, que les gaz s'échappant par la cheminée, enlèvent avec eux en moyenne 31 0/0 de la chaleur du charbon brûlé dans les chaudières, dans le cas le plus économique, ce chiffre ne peut être réduit à moins de 12 0/0, quantité presque suffisante pour chauffer l'eau d'alimentation de la température normale à celle de la vapeur.

Le charbon généralement employé pour cet usage, servirait donc à produire exclusivement la vapeur.

Supposons une pression de 5^k 1/2 par cm² ; la température correspondante de la vapeur serait de 162°, si nous prenons 15° comme température moyenne de l'eau d'alimentation, il reste 162—15 = 147 unités de chaleur par kg. d'eau. Pour évaporer 1 kg. d'eau à 15°, à la pression précédente, il faut, d'après Regnault, 640 unités de chaleur. En gagnant 147 unités sur 640, il en résulte une économie de charbon de 22,9 0/0.

Cette chaleur perdue des gaz qui s'échappent à la cheminée, et qui peut être livrée à l'eau d'alimentation, représente le bénéfice qu'on peut réaliser avec l'emploi de l'économiseur.

Remplacement des tubes. — Nous avons vu combien il était facile d'accéder aux pièces transversales du bas, après que les couvercles ont été enlevés, dans le but de nettoyer les tubes.

Quand il s'agit de remplacer un tube, on opère de la façon suivante : lorsque le couvercle du tube endommagé est enlevé, on casse la

partie supérieure de ce tube à une hauteur de 5 à 10 cm, au moyen d'un long burin ; puis, on introduit un boulon en donnant pour point d'appui à l'écrou la traverse que l'on placera transversalement au-dessus de l'orifice de la boîte à tubes (fig. 459).

Cela fait, on glisse à côté du boulon une tige portant dans le bas un coin, préalablement ajusté, servant à faire appuyer et porter la partie crochue contre la surface annulaire inférieure du tube.

Quelques tours de l'écrou et plusieurs coups de marteau sur le tube, suffisent ordinairement pour le dégager.

L'ancien tube étant sorti, on introduit le tube de rechange, dont on force la base dans son emboîtement par l'application de quelques coups de marteau ; on fixe ensuite sa partie supérieure dans la boîte de dessus au moyen d'un mastic de fonte : après quoi, on remet le couvercle comme précédemment.

Résultats d'essais. — Les essais suivants ont été effectués sur différentes installations de chaudières, munis d'économiseurs Green, dans le but de reconnaître exactement l'économie de combustible que chaque appareil occasionnait.

1^o Surface de chauffe totale: 290 m²; nombre de tubes de l'économiseur 160.

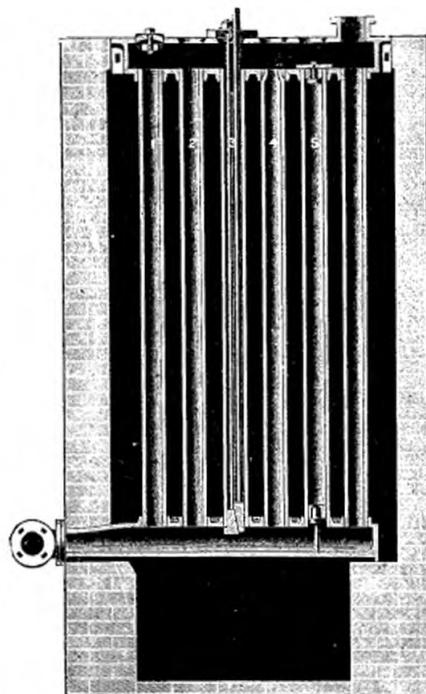


Fig. 459.

1, Tube sauté. — 2, Tube cassé — 3, Boulon à vis en position — 4, Tube de rechange introduit. — 5, Tube cassé réparé sans le sortir.

	“ÉCONISEUR” FONCTIONNANT ET NE FONCTIONNANT PAS	“Economiseur” fonctionnant Déc. 45.	“Economiseur” ne fonctionnant pas. Déc. 46.
1	Durée de l'essai. heures	41,5	41,5
2	Poids du charbon sec consommé . . . kg.	3 965	4 396
3	Quantité de résidu 0/0. 0/0	7,5	7,7
4	Poids du charbon consommé par heure, sur chaque mètre carré de grille kg.	7,421	8,202

	"ÉCONOMISEUR" FONCTIONNANT ET NE FONCTIONNANT PAS	"Economiseur" fonctionnant Déc. 45.	"Economiseur" ne fonctionnant pas. Déc. 46
5	Poids de l'eau évaporée kg.	38 428	37 515
6	Chevaux-vapeur développés sur la base de 13.600 kg. par cheval-vapeur, eau d'alimentation 40° pression 5 kg.	247	243
7	Pression moyenne des chaudières (au-dessus de l'atmosphère) kg.	4,78	4,71
8	Température moyenne de l'eau d'alimentation entrant dans "l'Economiseur" degrés Centigrades	29°	—
9	Température moyenne de l'eau d'alimentation entrant dans les chaudières. degrés Centigrades	91,2	27,7
10	Nombre de degrés de l'eau d'alimentation chauffée par "l'Economiseur" . . . degrés Centigrades	62,2	—
11	Température moyenne des gaz entrant dans "l'Economiseur" . . . degrés Centigrades	224	—
12	Température moyenne des gaz entrant dans la cheminée . . . degrés Centigrades	437	233
13	Nombre de degrés des gaz refroidis par "l'Economiseur" . . . degrés Centigrades	87	—
14	Kilogrammes d'eau évaporés par kilo de charbon (quantité observée) kg.	9,617	8,533
15	L'évaporation par kilo de charbon de et à 400° équivaut à	41,204	9,955
16	Bénéfice 0/0 en se servant de "l'Economiseur", 0/0	42,5	—

2° Surface de chauffe totale : 261 m²; nombre de tubes de l'économiseur : 160. Même charbon que pour l'essai précédent. Vapeur surchauffée de 27°8, le 17 décembre et de 29° le 18 décembre.

	"ÉCONOMISEUR" FONCTIONNANT ET NE FONCTIONNANT PAS	"Economiseur" fonctionnant Déc. 47.	"Economiseur" ne fonctionnant pas. Déc. 48.
1	Durée de l'essai heures	41,5	44,5
2	Poids du charbon sec consommé kg.	3 563	4 663
3	Quantité de résidu 0/0. 0/0	8	8,4
4	Poids du charbon consommé par heure, sur chaque mètre carré de grille kg.	3,71	4,83
5	Poids de l'eau évaporée kg.	3 265	3 309
6	Chevaux-vapeur développés sur la base de 13.600 kg. par cheval-vapeur, eau d'alimentation 40° pression 5 kg.	210	243
7	Pression moyenne des chaudières (au-dessus de l'atmosphère) kg.	4,08	4,03
8	Température moyenne de l'eau d'alimentation qui entre dans "l'Economiseur" degrés Centigrades	31	—
9	Température moyenne de l'eau d'alimentation qui entre dans les chaudières. degrés Centigrades	107,22	29,5
10	Nombre de degrés de l'eau d'alimentation chauffée par "l'Economiseur" . . . degrés Centigrades	76,22	—
11	Température moyenne des gaz qui entrent dans "l'Economiseur" . . . degrés Centigrades	325,5	—
12	Température moyenne des gaz qui entrent dans la cheminée . . . degrés Centigrades	485	340,5
13	Nombre de degrés des gaz refroidis par "l'Economiseur" . . . degrés Centigrades	440,5	—
14	Kilogrammes d'eau évaporés par kilo de charbon (quantité observée) kg.	9,165	7,096
15	L'évaporation par kilo de charbon de et à 400° équivaut à	40,613	8,235
16	Bénéfice 0/0 en se servant de "l'Economiseur"	28,9	—

CHAPITRE VII

FOYERS ET GRILLES

Foyer fumivore, système Joseph Hinstin

La Société générale de Fumivorité, dont le siège social est à Paris, exposait, dans la classe 19, un foyer fumivore imaginé par M. Joseph Hinstin.

L'inventeur de cet appareil s'est proposé de résoudre le problème de la combustion rationnelle et complète d'où devait resulter la fumivorité. Le moyen employé consiste à obtenir que les produits gazeux d'une combustion incomplète et l'air destiné à les brûler, se rencontrent, avant de s'échapper dans l'atmosphère, en un point de l'appareil où la température soit assez élevée pour parachever leur combustion.

M. Hinstin a obtenu ce résultat au moyen de carreaux en terre réfractaire, qui assurent la direction et l'échauffement des courants, et de registres qui règlent la proportion des mélanges gazeux. Le dispositif pratiquement adopté varie avec la destination de l'appareil. Lorsqu'on dispose d'un espace suffisant, comme dans le cas de foyers industriels, le charbon ou le coke parcourt successivement, sous l'action de la pesanteur, trois régions qu'on peut appeler respectivement : avant-foyer, foyer et arrière-foyer. La combustion du coke, qui s'achève dans la dernière région, assure en même temps celle du mélange de l'air, appelé par un système de réglage approprié, et de l'oxyde de carbone qui s'est formé dans le foyer.

La première expérimentation de ce système a été faite aux Colettes (Allier), sur un four à briques réfractaires dont M. Hinstin désirait éléver la température de cuisson et augmenter le rendement. Non seulement il a obtenu ce résultat, mais il a pu faire une économie de 340/0 sur la consommation du combustible.

Cet appareil est d'une extrême docilité au point de vue de la fumivorité ; il a permis de produire ou de supprimer à volonté la fumée, par le réglage des registres d'arrivée de l'air ou la suppression de ce réglage.

Nous allons examiner son application à différents types de générateurs.

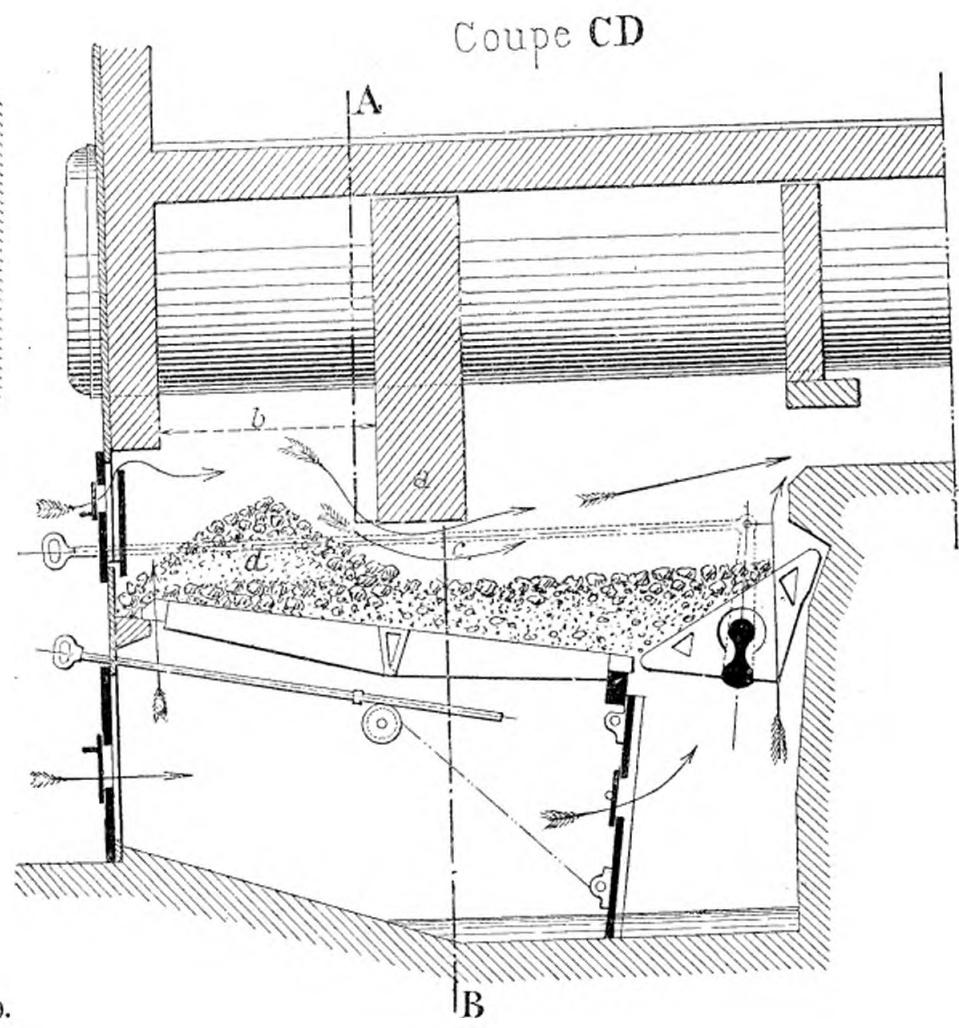
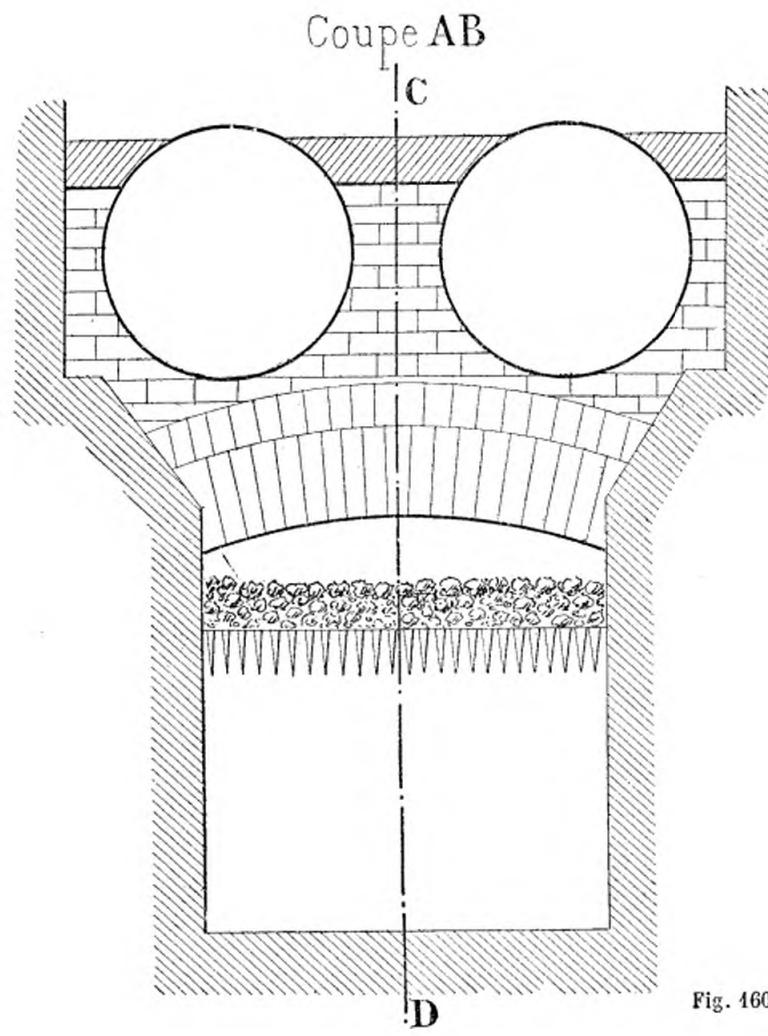


Fig. 460.

1^e *Application à une chaudière à bouilleurs.*— Le foyer est représenté sur le dessin ci-joint en coupe longitudinale et en coupe transversale (fig. 160).

Dans le but d'exposer au rayonnement du combustible la plus grande surface possible de bouilleurs, la charge de charbon étant faite sur le devant de la grille, on donne à la contre-grille qui retient le charbon, et à la voûte de l'avant-foyer qui lui fait suite, les dimensions strictement suffisantes pour contenir le combustible frais. On prend même le soin de supprimer la plaque de foyer, ce qui permet de remonter la grille et de regagner une longueur de grille égale à la largeur de la plaque supprimée. Il ne reste, en somme, qu'une assez faible quantité de l'ancienne grille recouverte par la voûte d'avant-foyer.

M. Brüll, dans un rapport fait au nom du Comité des Arts mécaniques sur ce système de foyer, s'exprime de la façon suivante, au sujet de son fonctionnement :

« Le chargement se fait à l'avant de la grille, sur la couche de combustible préalablement carbonisée ; l'échauffement et la distillation 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.

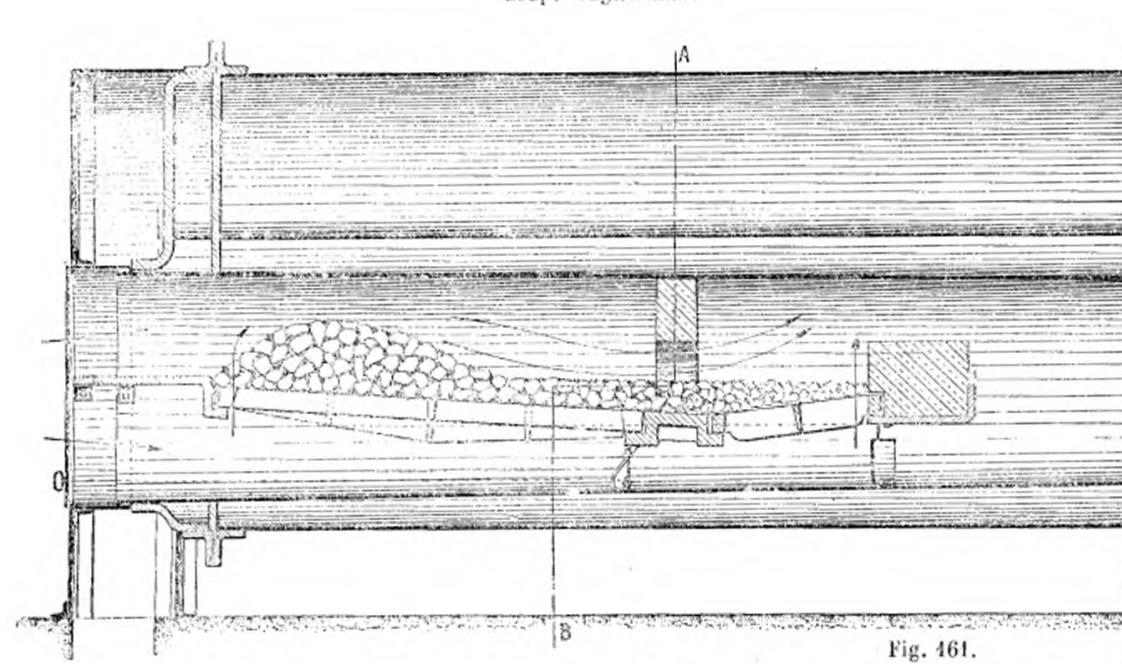
Le cendrier est divisé en deux compartiments par une plaque de tôle percée d'un petit orifice, de façon à envoyer moins d'air à l'arrière qu'à l'avant du foyer. Cette plaque peut être levée pour sortir les cendres.

L'air se mêle ainsi aux gaz du charbon. Ce mélange gazeux est infléchi par une voûte en produits réfractaires, qui règne au-dessus de la grille.

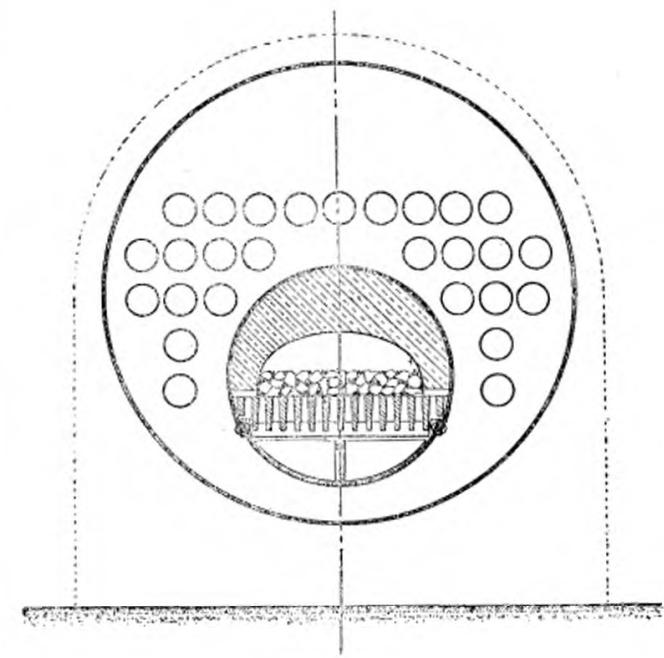
Après distillation, le combustible passe sur la partie moyenne de la grille. Tantôt, si la pente est suffisante, il y descend de son propre poids, tantôt c'est le chauffeur qui, à l'aide d'un râble, doit pousser la tête de la couche vers la partie moyenne de la grille et dégager aussi cette partie en refoulant vers l'autel le coke en partie consumé.

Le courant horizontal d'hydrocarbures, intimement mêlés à l'air par le renversement, sort de la voûte, vient lécher la couche de coke incandescent ainsi entretenue et s'y brûle plus ou moins complètement. Cette couche est mince au-dessous de la voûte ; elle s'épaissit à l'arrière, grâce à une certaine inclinaison de la grille ; on obtient ainsi, au centre du fourneau, une grande masse en ignition qui entretient la chaleur dans tout l'ensemble du foyer.

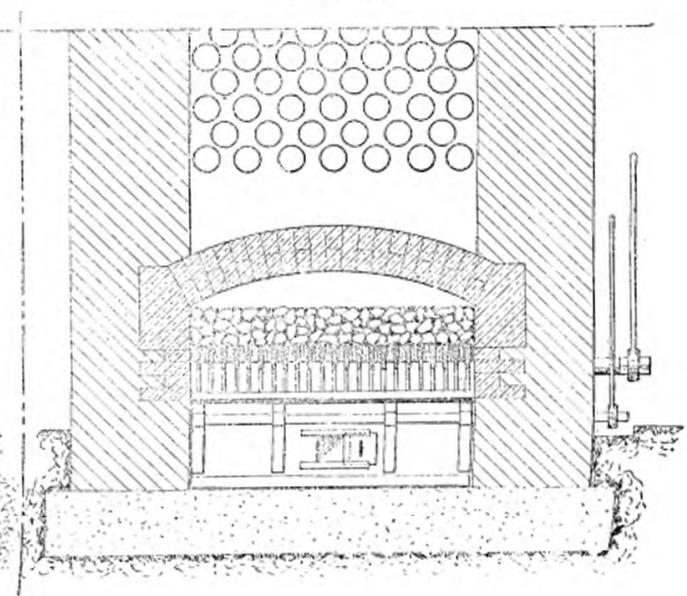
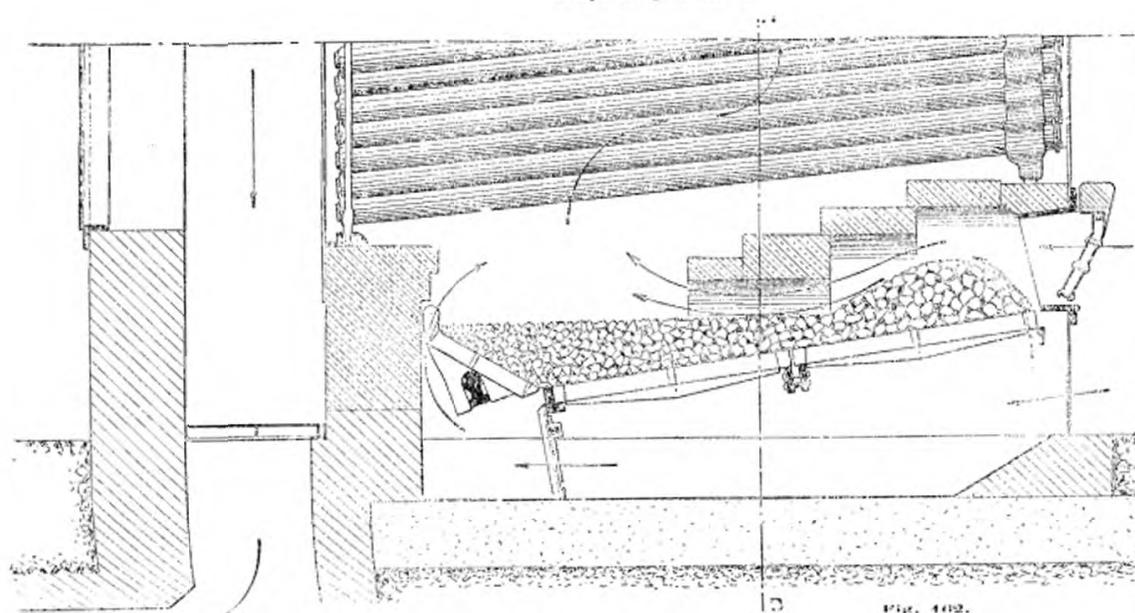
Coupe longitudinale.



Coupe AB.



Coupe longitudinale.



Pour maintenir le coke en ignition dans la partie voisine de l'autel, la couche de coke s'y amincit grâce à l'inclinaison inverse d'une petite grille articulée, ou jette-feu, qui sert aussi au décrassage du foyer.

Les gaz de combustion riches en acide carbonique qui partent ainsi de l'arrière du foyer, s'élèvent vers l'autel. Les produits de la combustion des hydrocarbures émanant de l'avant du foyer, se dirigent vers le même point en un courant à peu près horizontal.

Les gaz provenant de la combustion du coke dans la partie centrale du foyer, et qui peuvent contenir une certaine proportion d'oxyde de carbone, sont ainsi enserrés et laminés entre ces deux courants. Leur combustion s'achève sur l'autel de briques réfractaires où règne une température très élevée. C'est sur ce phénomène que compte surtout l'inventeur pour atteindre à la fois une bonne utilisation du combustible et la suppression de la fumée ».

2^e Application aux chaudières à foyers intérieurs.— Dans la chaudière à foyer intérieur, comme on dispose de très peu de place, on conserve la grille du foyer ordinaire, à la suite de laquelle on en place une plus petite sur laquelle le chauffeur envoie de temps en temps une couche mince de charbon rouge (fig. 161).

Une voûte de renversement force les produits de la combustion à s'infléchir sous la seconde grille où, mélangés à l'air, ils brûlent au contact du coke incandescent, comme le montre la direction des flèches. Une petite demi-lune, manœuvrée à l'extérieur, remplace le volet du cendrier, et permet de répartir entre les deux grilles l'air nécessaire à la combustion des gaz.

3^e Application à une chaudière multitubulaire. — Dans les chaudières multitubulaires, le foyer n'ayant pas de plafond pour y appuyer la voûte de renversement, celle-ci est constituée au moyen d'une voûte inclinée en une ou plusieurs parties. La direction des flèches indique celle des courants les plus actifs qui déterminent la fumivoreté (fig. 162).

Une chicane, placée à la partie supérieure, ramène les produits de la combustion en avant, puis en arrière.

L'expérience démontre que les voûtes, bien établies, durent autant que les parois du foyer, de même que les grilles, bien aérées, durent autant que les pièces métalliques des foyers ordinaires.

Ajoutons, pour terminer, quel l'industrie n'est pas seule à profiter des avantages que nous avons énumérés. La Société générale de Fumivoreté a rendu fumivores d'autres types d'appareils de chauffage, depuis le calorifère et le fourneau de cuisine jusqu'au poêle d'appartement. La

suppression de la fumée, tout en réalisant une grande économie de combustible, fait disparaître encore les nombreux inconvénients qu'on rencontre dans les foyers ordinaires.

Foyers Meldrum.

Les foyers à tirage forcé imaginés par MM. Meldrum frères, constructeurs à Manchester, étaient présentés à la classe 19, parmi les appareils accessoires des chaudières. De plus, dans la même classe, la chaudière exposée par MM. Joya, de Grenoble, était munie d'un foyer Meldrum.

Enfin deux de ces appareils fonctionnaient au pilier sud de la tour Eiffel, où ils étaient adaptés à deux chaudières.

Description et avantages. — Le foyer Meldrum (fig. 163) se compose d'une grille à barreaux brevetés, à espacement de 3 mm environ et d'un souffleur de vapeur, de construction et de dispositions spéciales, dont le diamètre à l'orifice des jets varie entre 1^{mm},75 et 4 mm.

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, dans le milieu où la haute température favorise leur combinaison dans des proportions correspondant au dégagement maximum de chaleur.

Les gaz refoulés par le soufflage se répandent plus également dans les carreaux et la température est plus uniformément répartie sur toute la surface de chauffe. Il en résulte une meilleure vaporisation par mètre carré et une tendance bien accentuée à la suppression des dilatations inégales, si nuisibles aux tôles et à leurs assemblages.

On peut fermer à peu près le registre; les gaz, retenus dans la chambre de combustion ou dans les carreaux, n'en sortent qu'après avoir été dépouillés de leur excédent de chaleur.

Les souffleurs sont calculés pour donner toutes pressions demandées jusqu'à 150 mm d'eau ; en général, 10 à 25 mm suffisent. Ils permettent ainsi d'augmenter jusqu'à 300 kg., le poids de combustible brûlé par heure et par m² de surface de grille.

La cheminée du générateur n'étant plus destinée qu'à évacuer les produits de la combustion, ses dimensions et surtout sa hauteur peuvent être réduites au minimum ; il en résulte une économie de dépense de premier établissement.

Le grand avantage que présente ce foyer réside dans la faculté qu'il

procure de brûler un combustible inférieur et bon marché. Dans les charbonnages, en particulier, il permet d'alimenter les chaudières avec

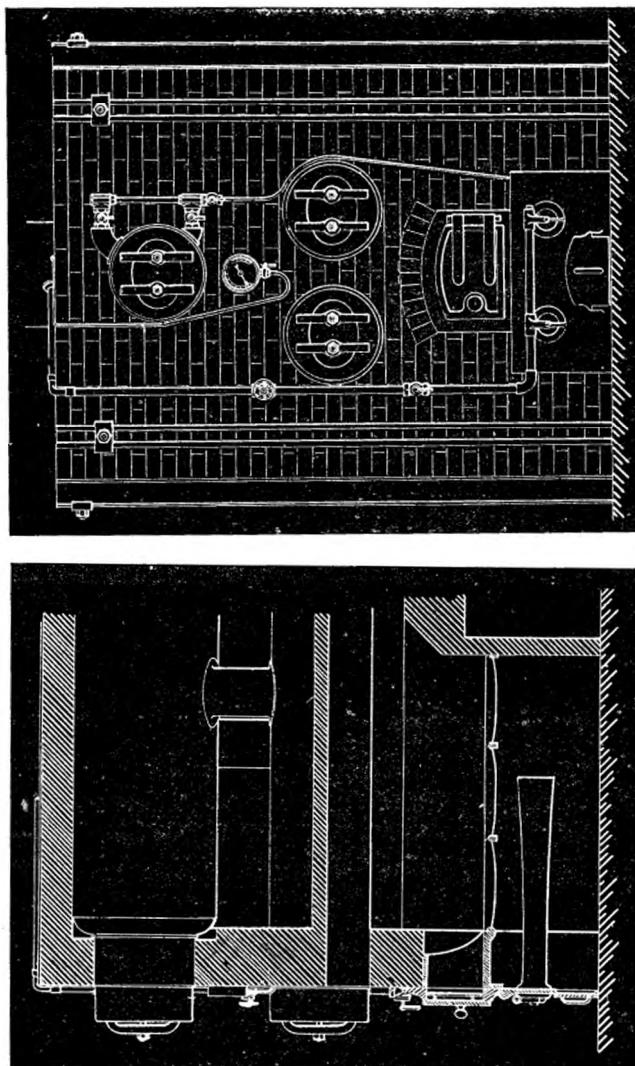


Fig. 463. — Foyer Moldrum.

des schistes à 60 % de cendres et des déchets sans valeur commerciale.

Même dans les centres industriels éloignés des houillères, on peut faire une économie sensible, soit en remplaçant des menus par un mélange de charbon maigre et de cendres de coke, soit en remplaçant des charbons calibrés (braisette, tête de moineau, etc.) par un mélange de fines grasses et de fines maigres dont on pourra brûler, par heure et par m² de grille, une quantité égale et même supérieure à celle du charbon précédent, brûlé sur une grille ordinaire.

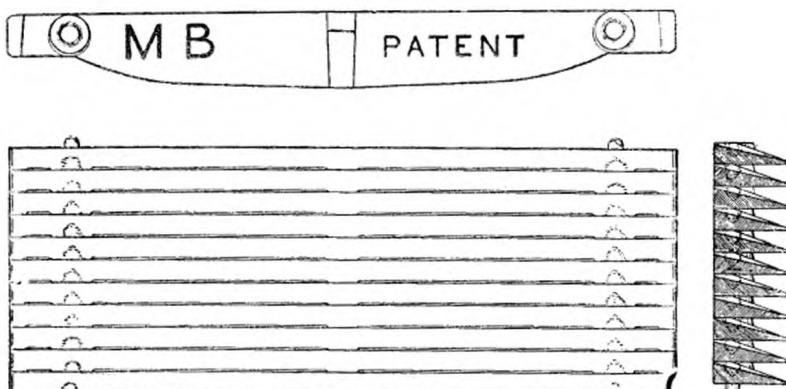


Fig. 464.

Le soufflage peut être régularisé de façon à empêcher, pratiquement, l'air froid de pénétrer par les portes de chargement, et l'air insufflé, se trouvant en quelque sorte tamisé par la grille du foyer, il est impossible de produire les effets de chalumeau.

Par l'application du foyer Meldrum, la production de vapeur d'une chaudière peut être généralement augmentée de 50 %, beaucoup de chaudières ne pouvant atteindre leur puissance totale de vaporisation, faute d'un tirage suffisant à la cheminée.

Le montage du foyer se fait très facilement et rapidement, sans qu'il soit nécessaire de procéder à des réparations coûteuses. Chaque appareil est combiné et construit pour le genre de chaudière auquel il doit être adapté.

Résultats d'essais. — Nous donnons dans le tableau suivant les résultats remarquables d'une expérience faite, en 1897, par l'Association lyonnaise des propriétaires d'appareils à vapeur, sur des chaudières munies et non munies de foyers Meldrum.

Essais comparatifs de vaporisation faits sur les chaudières munies ou non d'appareils émulseurs et de foyers soufflés système Meldrum.

Chaudières identiques à 2 bouilleurs, 1 corps et 2 réchauffeurs cylindriques horizontaux.

Surface de chauffe directe : 36^{m2}; Réchauffeurs : 25^{m2}; Surface totale : 61^{m2}.

	CHAUDIÈRE SANS ÉMULSEUR		CHAUDIÈRE AVEC ÉMULSEUR	
	avec grille ordinaire	avec grille Meldrum	avec grille ordinaire	avec grille Meldrum
Chaudières numéros	183	183	184	184
Surface de grille	2 ^m 13	2 ^m 13	2 ^m 20	2 ^m 20
Dates de l'essai	16 septembre 1897	18 septembre 1897	15 septembre 1897	17 septembre 1897
Durée de l'essai.	10 h.	10 h.	9 h. 50	10 h.
Nature du combustible.	Menu	Menu de qualité infre	Menu	Menu de qualité infre
Prix du combustible à l'usine, la tonne.	23 ^f , 75	14 ^f »	22 ^f , 75	14 ^f »
Combustible brut consommé	1.245 ^k »	1.440 ^k	1.067 ^k 7	1.350 ^k »
Humidité dans le combustible 0/0	3, 2 %	4, 7 %	4, 7 %	4, 7 %
Combustible brut sec consommé	1.285 ^k 16	1.372 ^k 32	1.017 ^k 52	1.286 ^k 55
Scories et déchets de grille	161 » (13,36 %)	190, 10 (13,85 %)	117 » (11,49 %)	171, 80 (13,35 %)
Combustible pur consommé.	1.044 ^k 16	1.182 ^k 22	900, 52	1.114 ^k 75
Combustible brut consommé par surface de chauffe directe par heure et par m ² de grille.	3, 458 2, 041 58, 450	4 » 2, 361 67, 606	3, 016 1, 780 49, 362	3, 750 2, 213 61, 363
Température moyenne de l'eau d'alimentation.	19, 04	21, 02	22, 9	22, 55
Eau alimentée à cette température.	8.588, 5	8.462 »	8.344, 5	8.809, 5
Eau vaporisée par surface de chauffe directe, heure et par m ² de grille.	23, 850 14, 080	23, 500 13, 870	23, 570 13, 910	24, 500 14, 440
Pression moyenne de la vapeur	5, 655	5, 625	5, 740	5, 660
Eau à la température d'aliment. vaporisée à la pression moy par kg. de combustible brut. .	6, 893	5, 876	7, 815	6, 525
Eau ramenée à 0° et vaporisée à 5 kg. par kilo de combustible pur.	8 »	6, 940	8, 960	7, 645
Prix de revient de la tonne de vapeur, à 5 kg (eau prise à 0°)	3, 390	2, 457	3, 010	2, 218
Vapeur consommée par la soufflerie Meldrum (soufflé pendant 9 heures) (1).	»	378 ^k »	»	333 ^k »
Température moyenne des gaz à la fin de la troisième circulation (avant les réchauffeurs).	332°	352°	323°	355°
Dépression moyenne à la fin de la troisième circulation (en millimètres d'eau).	4, 3	4	2, 5	3
Pression moyenne dans le cendrier (en millimètres d'eau).	»	4	»	4, 8
Teneur moyenne en acide carbonique des gaz de la combustion.	10, 80 %	10, 56 %	11 %	11, 14 %
En tenant compte des chiffres approximatifs donnant la vapeur consommée par la soufflerie, on obtient comme prix de la tonne de vapeur à 5 kg.	»	2 ^f , 570	»	2 ^f , 320

(1) Ces chiffres ne peuvent être considérés que comme approximatifs, car la chaudière spéciale alimentant la soufflerie perdait beaucoup. Nous avons constaté qu'elle perdait 80 kg. d'eau par heure. Le chiffre de la journée du 17 est calculé d'après le pourcentage de la journée du 18.

Essais de vaporisation faits à la Compagnie des Mines d'Anzin à la Fosse Amaury à Vieux Condé sur deux chaudières à bouilleurs timbrées à 5 kg. et munies de Foyers Meldrum par M. F.-A. NOËL :

<i>Essais faits par le chauffeur de M. Noël à la livraison des foyers.</i>					<i>Essais faits par le chauffeur de la Compagnie des Mines d'Anzin pour confirmer les précédents.</i>			
Date de l'essai	24 mai 1899	25 mai 1899	26 mai 1899	27 mai 1899	5 juin 1899	7 juin 1899	8 juin 1899	10 juin 1899
Surface de chauffe les deux chaudières ensemble	430 m ²	430 m ²	430 m ²	430 m ²	430 m ²	430 m ²	430 m ²	430 m ²
Surface de grille les deux chaudières ensemble	5m ² ,76	5m ² ,76	5m ² ,76	5m ² ,76	5m ² ,76	5m ² ,76	5m ² ,76	5m ² ,76
Durée de l'essai les deux chaudières ensemble	8 h.	6 h.	6 h.	4 h.	9 h.	10 h.	10 h.	6 h.
Combustible employé	Escaillage maigre	Fines maigres	(¹) Schistes 1/2 gras	Poussier de coke	Escaillage maigre	2/3 schistes 1/3 poussier de coke	2/3 poussier de coke	Poussier de coke
Combustible brûlé	3 400 kg.	2 790 kg.	4 330 kg.	2 333 kg.	5 310 kg.	6 600 kg.	6 925 kg.	3 639 kg.
— par heure	425 kg.	465 kg.	721,66	584,25	590 kg.	660 kg.	692,5	606,5
— — et m ² de grille	73,78	80,73	125,29	101,43	102 kg.	114 kg.	120,2	105,2
Eau évaporée	45 000 kg.	44 700 kg.	15 700 kg.	40 425 kg.	23 910 kg.	34 560 kg.	30 680 kg.	48 220 kg.
— par heure	1 875 kg.	2 450 kg.	2 616,6	2 531,25	2 656 kg.	3 436 kg.	3 068 kg.	3 036 kg.
— — et m ² de surface de chauffe	44,42	48,84	20,42	49,47	20,5	26,5	23,6	23,3
Eau évaporée par kg. de charbon brut	4,41	5,27	3,62	4,34	4,5	5,236	4,43	5 kg.
— — — pur	6,5	7,9	7,42	5,47	6,08	8,267	6,60	6,9
Cendres et mâchefers	4 400 kg.	930 kg.	2 213 kg.	483 kg.	1 380 kg.	2 420 kg.	2 250 kg.	4 000 kg.
Quantité 0/0	31 0/0	33 0/0	52 0/0	20 0/0	23,9 0/0	36,6 0/0	32,4 0/0	27,2 0/0
Pression moyenne	4,75	5 kg.	5 kg.	5 kg.	5 kg.	5 kg.	5 kg.	5 kg.
Consommation des 4 souffleurs 0/0 de la production totale	"	"	6,45 0/0	6,5 0/0	606 0/0	4,80/0	5,86 0/0	6 0/0
Pression sous le cendrier	"	"	"	"	16 à 18 mm	16 à 18 mm	16 à 17 mm	16 mm
(1) Les schistes contenaient 10 0/0 d'humidité.					Depuis ces essais avec 42 foyers la Compagnie des Mines d'Anzin a fait une convention pour la livraison progressive de 200 foyers Meldrum.			

Il résulte des indications contenues dans le tableau de la page 327 que l'emploi de la grille Meldrum permettait d'obtenir, dans les circonstances de l'expérience, une économie de :

$$\frac{3,39 - 2,57}{3,39} = 24 \text{ } 0/0$$

Cette économie montait à :

$$\frac{3,39 - 2,32}{3,39} = 31,5 \text{ } 0/0$$

par la combinaison de l'émulseur et du foyer Meldrum.

Le second tableau page 328 donne les résultats d'essais effectués à la Compagnie des mines d'Anzin, avec l'emploi de différents combustibles de qualité très inférieure, sur deux chaudières du foyer Meldrum.

Enfin, dans le troisième tableau qui suit, nous résumons des essais comparatifs pour l'évaporation de 1 000 lit. d'eau, effectués avec plusieurs combustibles inférieurs, sur des foyers Meldrum adaptés à des chaudières de type différent.

LOCALITÉ	TYPE de chaudière	GENRE de foyer	COÛT du combustible les 1.000 kg. frances	GENRE de combustible	Poids d'eau évaporé par kg de combustible kilos	COÛT des 400 litres de vapeur frances	ÉCONOMIE avec le foyer Meldrum
Paris	Weyher et Richemond	Ordinaire.	23 »	Tout venant	7,43	3,22	
id.	id.	Meldrum .	13 »	Fines maigres	6,32	2,06	36 %
id.	id.	id.	16 »	30 % tout venant	7,35	2,47	32 »
id.	De Naeyer	Ordinaire	24 »	Tout venant	7 »	3,43	
id.	id.	Meldrum .	10 »	Poussier de coke	5,63	4,73	50 »
id.	Belleville	Ordinaire.	26,55	50 % fines	5,565	4,77	
id.	id.	Meldrum fumivore .	26,42	50 % tout venant	6,314	4,43	14 »
Mons	à bouilleurs	Ordinaire.	9 »	67 % fines	3,48	2,38	
id.	id.	Meldrum .	9 »	33 % tout venant	6,46	4,46	40 »
				Chaufours			
				Chaufours			

Avec 1 kg. de résidu de foyers de cornues à gaz, contenant 1/3 de matières combustibles, on a évaporé 3 kg. d'eau avec le foyer Meldrum, ce qui est équivalent à 9 kg. d'eau par kg. de charbon.

Avec le poussier de coke à 20 0/0 d'humidité et 15 0/0 de cendres, on a évaporé 6¹/₂ d'eau par kg. de poussier.

Enfin le foyer Meldrum permet de brûler les déchets d'écorce et autres rejets des tanneries, la sciure et les rebuts des papeteries.

MM. Meldrum ont donné la concession de leurs appareils, en France, à la Compagnie des Mines de Blanzy, dont l'agent général à Paris, M. Noël, s'occupe spécialement de leurs applications dans l'industrie.

*Foyer à chargement continu et à conduite mécanique
système Wagner.*

Le foyer à chargement continu imaginé par M. Wagner, ingénieur civil à Paris, est caractérisé par un avant-foyer comprenant un caisson en fonte ouvert à l'arrière et fermé à l'avant au moyen d'une plaque de devanture (fig. 165).

Au caisson sont fixés les arbres des différents mouvements, les deux longerons qui supportent les trois grilles et le réchauffeur d'air. Le foyer peut ainsi être monté complètement dans les ateliers avant son expédition.

Sur le caisson est également fixée une trémie qui reçoit tout le combustible destiné à l'alimentation du foyer. Cette trémie est fermée à la partie inférieure par un tiroir qui sert à régler les chargements et que l'on manœuvre à l'aide d'une manivelle à main. Au-dessous de la trémie et sur le devant du foyer, se trouve une ouverture pour permettre l'examen du feu et activer au besoin la chute du combustible.

Le gueulard est fermé à l'arrière par une porte en tôle à coulisses. Cette porte donne accès dans le foyer et sert à l'allumage. A la suite du caisson et au-dessous de la première grille, est construite une voûte en blocs réfractaires ayant un canal intérieur et dont la partie arrière est perforée de nombreux orifices. Deux tubes en fer placés dans la maçonnerie latérale du foyer, amènent l'air extérieur dans le canal de la voûte, d'où il afflue, chauffé à une haute température et très divisé, dans la partie supérieure du foyer.

Les trois grilles qui constituent le foyer proprement dit, sont disposées de la manière suivante :

La première grille, qui comprend les deux tiers de la surface de grille effective, est inclinée à 45° et les barreaux reposent sur des sommiers ronds en fer. Le sommier supérieur est fixé dans les parois latérales du caisson, et à une certaine distance de la partie inférieure et arrière du gueulard ; le sommier inférieur est fixé aux deux longerons qui supportent tout le foyer.

Les barreaux de cette grille sont soulevés, parallèlement à leur inclinaison, par un mouvement simple et pratique, suivant une course

déterminée par deux roues dentées. Les barreaux pairs et impairs font leur course alternativement. A un petit intervalle au-dessous de la première grille inclinée est disposé un gradin mobile dont les extrémités latérales reposent sur des guides venus de fonte avec les longerons.

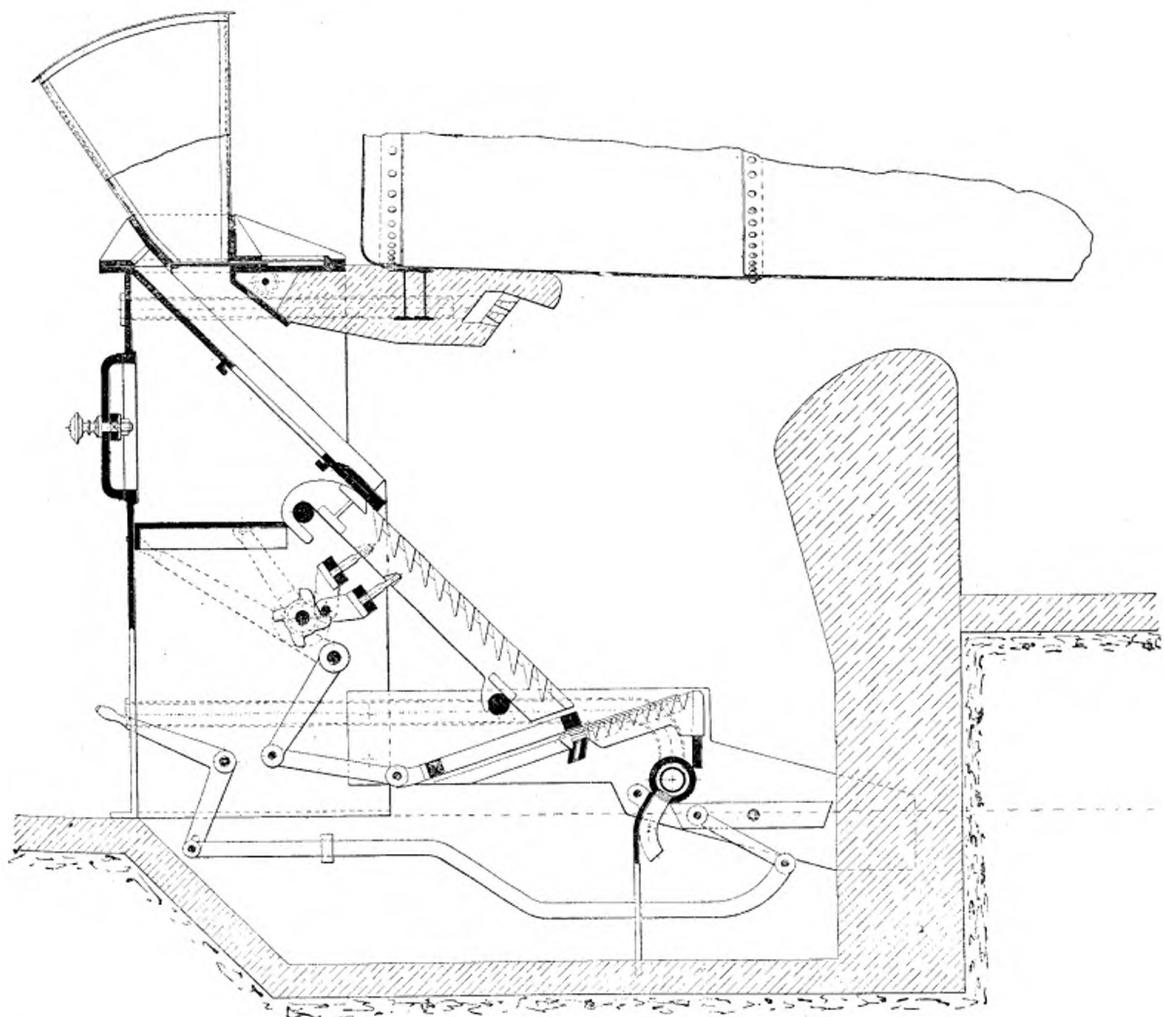


Fig. 463.

Au même niveau que ces guides, est placée la seconde grille dont les barreaux sont légèrement inclinés en avant. Durant la marche, le gradin mobile, actionné par un arbre moteur que l'on manœuvre à l'aide d'un levier, fait une course sur toute la longueur de la grille.

La première et la seconde grille sont composées de barreaux mobiles du système dit « à pyramides. »

Dans l'espace compris entre la seconde et la troisième grille, est placé un réchauffeur d'air. Le cendrier est fermé hermétiquement devant le réchauffeur, afin que la troisième grille ne soit alimentée que par l'air chaud provenant du réchauffeur. Cette grille est composée de barreaux très minces, en fer, qui sont encastrés dans un axe octogone en acier, sur lequel la grille fait un mouvement de bascule à l'aide d'une tringle qui est actionnée par un levier coudé.

Fonctionnement. — Le tiroir de la trémie étant ouvert, le charbon tombe sur le plan incliné de la partie arrière du gueulard et glisse jusqu'à la partie supérieure de la grille inclinée où il est arrêté dans sa chute par le charbon enflammé de l'allumage, fait auparavant par la porte du gueulard.

Le charbon frais n'arrive donc pas brusquement à l'état froid sur une surface incandescente, comme cela se produit dans les foyers ordinaires ; il est chauffé au contraire avant de se trouver en contact avec le charbon en ignition. Dans ces conditions, on évite toute production de fumée, attendu que la faible distillation de gaz combustible qui peut se produire s'effectue dans un milieu où les gaz trouvent la quantité d'air nécessaire à une combustion complète, par suite de l'arrivée d'air supplémentaire venant de la voûte à l'avant du foyer.

Au fur et à mesure que la combustion du charbon contenu sur la grille s'opère, la résistance rencontrée par le charbon frais sur sa route s'amoindrit, et ce dernier glisse peu à peu plus en avant, en s'enflammant à son tour.

Pour éviter l'encaissement de la grille inclinée, ce qui pourrait arrêter le charbon dans sa course, il suffit de donner quelques tours de manivelle, afin de conserver la grille en bon état de fonctionnement.

En arrivant sur la seconde grille, le charbon est complètement en ignition et la combustion est très avancée. Cette grille ne reçoit par conséquent que du charbon presque brûlé et surtout les résidus de la combustion, plus légers que le charbon, qui sont entraînés alors plus facilement. C'est évidemment en cet endroit du foyer que doit se faire le décrassage proprement dit.

Cette opération, si pénible dans les foyers ordinaires, en nécessitant l'ouverture des portes du foyer et un arrêt dans la chauffe, s'effectue ici facilement durant la marche, par un simple coup de levier qui fait avancer le gradin mobile sur la seconde grille, en poussant en arrière,

sur la troisième grille, toutes les crasses provenant de la combustion la plus avancée. En relevant le levier qui actionne le gradin mobile, ce dernier vient immédiatement reprendre sa position primitive.

La troisième grille ne reçoit donc que les cendres et le mâchefer; mais comme il peut s'y mélanger encore des parties combustibles, et comme il est intéressant de récupérer la chaleur absorbée durant la combustion, on les laisse séjournier un certain temps sur cette grille avant de les faire tomber dans le cendrier par la manœuvre de la tringle qui la fait basculer.

Toutes les opérations de la conduite du feu sont ainsi faites mécaniquement durant la marche, ce qui représente un nouveau mode de chauffage plus commode et surtout plus économique.

Avantages et résultats. — Le principal avantage de cet appareil, et qui est d'une grande importance, c'est que le foyer reste toujours fermé pendant la durée des chargements et des diverses opérations nécessitées par la conduite du feu. Toutes ces opérations sont faites mécaniquement, sans nécessiter d'arrêt dans la marche.

On évite ainsi le refroidissement de la température du foyer, cause d'une déperdition de chaleur continue qui a également pour conséquence une usure rapide du matériel, par suite de la contraction que subissent les tôles.

Ces effets désastreux se reproduisent à chaque instant avec les foyers ordinaires qui obligent à ouvrir les portes du foyer pour charger, tisonner et décrasser le feu. Le décrassage en particulier cause, non seulement une perte de temps, mais encore une chute de pression qu'il faut ensuite regagner en forçant les feux, et la consommation de combustible augmente proportionnellement. Le foyer Wagner produit donc un gain de temps, une pression constante et une économie de combustible.

Au moyen du chargement continu du combustible, le charbon frais est chauffé avant d'être mis en contact avec du charbon enflammé; jamais la surface incandescente du foyer n'est couverte de charbon frais, de sorte que le rayonnement est constant. Comme, d'autre part, la température n'est pas refroidie par l'ouverture du foyer, elle atteint un degré beaucoup plus élevé que dans les appareils ordinaires. L'intensité de la température ambiante est encore augmentée par la combustion complète des hydrocarbures, réalisée par l'air chaud provenant de la voûte, à l'avant du foyer.

Il en résulte une suppression de la fumée et de la perte de la cha-

leur entraînée par la distillation du charbon qui produit un effet réfrigérant.

Dans ces conditions, aucun arrêt n'existant dans la chauffe et la même activité étant maintenue dans la combustion, la production de vapeur se trouve considérablement augmentée par m^2 de surface de chauffe de la chaudière, tout en se maintenant avec une régularité qui assure à la vapeur une pression constante.

*Foyer fumivore à chargement mécanique,
système Crèceveur.*

M. Crèceveur, constructeur à Mantes, présentait, dans la classe 19, un foyer fumivore à chargement mécanique, une grille mobile oscillante pour tous foyers et des barreaux à double lumière pour grilles fixes.

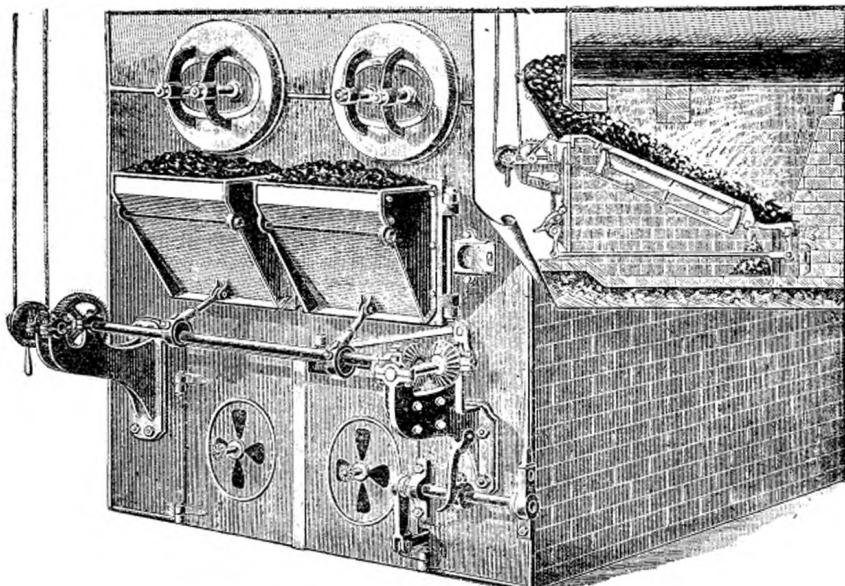


Fig. 166.

Le foyer Crèceveur donne un chauffage méthodique et assure la fumivorité, sans l'emploi d'aucun moyen artificiel, injection d'air ou de vapeur. Le chargeur mécanique alimente une grille inclinée et oscillante dont le décrassage s'effectue mécaniquement, de l'extérieur, sans provoquer de rentrées d'air dans la chambre de combustion (fig. 166).

L'ensemble du foyer comprend deux trémies en fonte, à parois inclinées mobiles autour d'un axe horizontal supérieur. Chaque volet porte,

en bas, un tourillon qui reçoit la tige d'un excentrique. Les deux excentriques sont calés sur un arbre horizontal commandé, à gauche, par un engrenage dont le pignon est actionné au moyen d'une poulie à plusieurs gorges de diamètres différents. Un embrayage à main permet de supprimer la transmission de mouvement.

L'oscillation de la grille est obtenue par un système de bielles et de leviers articulés qui reçoit son mouvement d'un engrenage conique dont l'un des pignons est monté à l'extrémité de l'arbre de commande précédent. Le charbon qui remplit les trémies, sollicité par le mouvement de va-et-vient des volets et l'oscillation de la grille, descend graduellement sur cette grille. En sortant de la trémie, il reçoit la chaleur rayonnante du foyer ; la combustion commence, pour se continuer activement et régulièrement au fur et à mesure du cheminement sur les barreaux. Une petite grille horizontale reçoit les mâchefers, que le mouvement oscillant empêche de se coller aux barreaux de la grande grille. De temps en temps, le chauffeur fait basculer cette petite grille pour la débarrasser des résidus de la combustion, en déclenchant le cliquet d'une roue à rochet correspondant à un dispositif de manivelles et de tringles, relié à la grille.

Pour allumer le feu, on décroche les excentriques des volets, qui peuvent alors tourner autour de l'axe supérieur de façon à dégager les ouvertures donnant accès à la grille.

En déplaçant la courroie de transmission sur les gorges de la poulie de commande, on fait varier l'allure de la combustion.

Les rentrées d'air froid sur la grille sont complètement évitées et, par suite, il ne se produit aucune perte de chaleur pendant l'opération habituelle du décrassage qui ne devient nécessaire qu'à de longs intervalles. Il en résulte un économie de combustible de 20 à 25 %.

Des essais comparatifs, effectués par l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de l'Ouest, avec un foyer Crèceveur et un foyer ordinaire, ont donné, à surfaces de chauffe égales des chaudières et pendant le même temps, les résultats suivants :

	Foyer Crèceveur	Foyer ordinaire
Poids d'eau vaporisée par kilogramme de charbon brut. . kg.	8,481	6,283
Poids d'eau vaporisée par kilogramme de charbon brut. . kg.	9,364	6,981

*Tirage mécanique des foyers, par aspiration
à travail constant, système Prat.*

Monsieur Prat, Ingénieur à Paris, présentait dans la classe 19, un nouveau procédé de tirage mécanique des foyers par aspiration à travail constant.

On sait que le mouvement des gaz dans une cheminée est dû à l'excès de pression résultant de la différence entre le poids de la colonne d'air entourant la cheminée et la colonne d'air chaud intérieure. La dépression qui résulte de cette différence de poids et des conditions de mouvement, est mesurée en millimètres d'eau et habituellement désignée sous le nom de *tirage* de la cheminée.

Ce tirage, considéré comme moyen d'imprimer à la colonne gazeuse le mouvement nécessaire pour produire la combustion est peu économique. Si on admet que les gaz sont évacués à 300°, la perte de chaleur atteint 1 400 calories par kilogramme de charbon, soit $\frac{1\,400}{8\,000} = 0,175\,0/0$ environ, non compris la chaleur latente de la vapeur contenue dans la fumée.

Le tirage d'une cheminée est donc assez coûteux puisqu'il exige approximativement, 1/6 du charbon brûlé sur les foyers. On a cherché, par différents moyens, à éviter cette perte de combustible, et le procédé Prat se rattache aux systèmes de tirage artificiel qu'on peut désigner sous le nom de tirage par entraînement.

Il consiste à envoyer dans un appareil spécial, désigné sous le nom de transformateur de pression, un courant d'air sous pression, fourni par un ventilateur installé hors du circuit des gaz, qui détermine par son écoulement 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 carreau principal où se réunissent les gaz de la combustion, en faisant alors lui-même office de cheminée.

Ce procédé de tirage mécanique demande une force motrice très faible ; il assure une meilleure combustion aux foyers et procure une augmentation de la puissance de vaporisation des chaudières. Il est caractérisé par une amplitude considérable de succion, pouvant varier automatiquement du simple au triple, suivant le degré de résistance de l'appareil évaporatoire.

C'est là un point très important, car, lorsque la grille du foyer vient

d'être chargée de charbon, la résistance au passage de l'air étant accrue, le volume de celui-ci tend à diminuer ; il y a production de fumée et combustion incomplète si la dépression n'a pas augmenté au même moment. Il faut donc que la dépression varie en raison des résistances créées sur la grille, et l'on conçoit que le tirage idéal devrait résulter d'une aspiration à travail constant, dont le pouvoir déprimant augmenterait ou diminuerait suivant l'état des feux.

On peut traduire cette aspiration à travail constant par la formule très simple :

$$T_e = QH$$

dans laquelle :

T_e est le travail constant.

Q le volume d'air appelé.

H la dépression dans la cheminée.

En effet, cette égalité montre que si le volume Q tend à diminuer par l'encaissement de la grille ou par l'augmentation de la hauteur de combustible, la dépression H doit augmenter, puisque T_e est supposé constant. Inversement si le volume Q tend à s'accroître lorsque les feux sont en pleine activité, le tirage H diminue.

Cette formule théorique du travail d'aspiration laisserait supposer que deux cas extrêmes peuvent se produire :

1° Pour $Q = 0$, H deviendrait infini.

2° Pour $H = 0$, Q deviendrait infini.

En fait, le transformateur de pression a des limites de fonctionnement beaucoup moins reculées. Lorsque Q est nul, la dépression ne peut atteindre, pratiquement, une valeur supérieure à quatre fois environ celle de la pression du fluide ; lorsque l'aspiration se fait directement dans l'atmosphère, c'est-à-dire avec une dépression nulle à l'ouïe de l'appareil, le débit d'air appelé a une limite bien définie, variable avec les dimensions de chaque appareil et avec la pression du fluide pulseur.

Dans les applications courantes, les transformateurs de pression capables de déterminer un vide supérieur à quatre fois la valeur du fluide injecté, n'ont pas d'utilité réelle, en raison de leur champ encore plus limité ; le plus souvent, il suffit d'employer des appareils donnant une dépression un peu inférieure à la pression du fluide pulseur.

Description et fonctionnement des appareils. — L'ensemble des appareils constituant le procédé de M. Prat, comprend (fig. 167) :

1° Un ventilateur centrifuge soufflant, placé hors du circuit des gaz de la combustion, afin d'éviter à la fois son oxydation par l'acide sulfu-

rique, son encrassement par la suie et son échauffement par des gaz à température généralement élevée.

2° Un transformateur de pression formant cheminée.

3° Une conduite de vent, avec papillon de réglage, reliant le ventilateur au transformateur.

Le ventilateur centrifuge a, en général, un grand diamètre de turbine afin de réduire au minimum la vitesse de rotation de son arbre, et des ailettes peu larges, pour lui permettre de conserver de bons rendements sur les orifices équivalents, un peu étroits, sur lesquels il doit fonctionner.

La turbine de cet appareil est composée d'un disque en tôle d'acier avec ailettes de même métal vissées symétriquement sur ses deux faces. Elle est montée sur un arbre également en acier tournant dans deux paliers graisseurs à rotule, à large surface et à grand réservoir d'huile, avec graissage automatique par bagues tournantes. Les paliers sont construits de manière à permettre le réglage de la position de l'arbre de la turbine, sans qu'il soit nécessaire de les démonter ou de faire tomber la courroie.

Le transformateur de pression doit permettre d'obtenir la meilleure utilisation du fluide pulseur et le libre écoulement des gaz appelés.

Pour réaliser ces deux conditions, le transformateur de pression se compose de trois organes essentiels :

1° Une embase formant ouïe, 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 cette diffusion soit complète, résultat qui s'obtient en lui donnant trois à quatre fois la valeur de son diamètre.

3° Un ajutage divergent, formant diffuseur, dont la hauteur est égale à environ sept fois son plus petit diamètre.

L'embase comprend elle-même : une cloche inférieure dirigeant les gaz

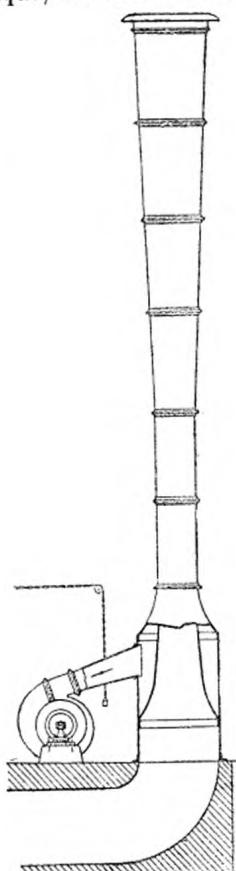


Fig. 467.

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.

Cet appareil, qui permet de réaliser une double diffusion due à l'emploi de la chambre de diffusion et du diffuseur lui-même, se différencie donc nettement de ceux employés jusqu'ici dans le même but.

Il est quelquefois commode d'employer l'injection centrale au lieu de l'injection annulaire; mais dans l'un ou l'autre cas, le transformateur ne comporte aucun appareil de réglage de ses divers organes, ceux-ci pouvant être calculés et disposés pour obtenir la meilleure utilisation de l'air injecté et la réduction de tous les frottements intérieurs.

L'appareil joint donc à une grande simplicité de construction l'avantage de n'exiger que des dimensions réduites, eu égard surtout à celles d'une cheminée ordinaire d'égale puissance.

Applications diverses. — En 1896, ce système de tirage mécanique a été appliqué par M. Prat, à l'Exposition de Rouen, sur une batterie de générateurs composée de :

2 chaudières Belleville.

2 » Babcock et Wilcox.

1 » Roser.

Le transformateur n'avait que 15 m de hauteur.

A la filature de coton de MM. Lemarchand frères, à Rouen, avec un transformateur de 7^m,50 de hauteur, on a assuré pendant plus d'un an, le tirage d'une chaudière Galloway de 300 chevaux.

La conduite de vent qui relie le ventilateur au transformateur se compose d'un ajutage divergent fixé sur la buse du premier appareil, et d'une gaine dans laquelle est adapté un papillon avec contrepoids, pouvant être actionné à distance par le chauffeur pour régler le tirage. Ce réglage permet de réduire le travail nécessaire à l'appareil suivant l'importance du tirage; à la limite, lorsque le papillon est complètement fermé, le ventilateur fonctionne sur un orifice équivalent nul, et le travail absorbé se réduit sensiblement au travail des résistances passives.

On peut également obtenir le réglage de la dépression en faisant varier la vitesse du ventilateur. De plus, il peut arriver qu'un transformateur, établi en vue d'une installation de plusieurs chaudières, n'ait,

au début, qu'à assurer le tirage pour une seule ; le ventilateur n'a alors aucune utilité.

Ce cas s'est présenté au tissage de MM. Manchon, à Rouen, où la cheminée en briques de 20 m de hauteur, avec transformateur de pression en fonte dans son intérieur, prévue pour un groupe de chaudières Gal-loway, n'en dessert actuellement qu'une seule. Malgré l'exiguité relative du transformateur de pression, et le peu de hauteur de la cheminée, le tirage naturel est suffisant pour la marche de cette chaudière

sans l'aide d'un ventilateur, ou, en tout cas, en n'exigeant de cet appareil qu'une vitesse modérée.

Le ventilateur n'a pas besoin d'être actionné par un moteur spécial ; généralement, il prend sa commande sur une transmission de l'usine et il est mis en marche en même temps que celle-ci.

Les faibles dimensions du transformateur de pression permettent de l'installer dans un emplacement restreint, avec des fondations peu importantes, ou de le placer directement sur le carreau principal, à la sortie des gaz de la batterie de chaudières.

Une installation de ce genre a été faite à la filature « La Foudre » de la Société Pouyer-Quertier, à Rouen. Un transformateur de pression de 13 m de hauteur y est employé sur un groupe de chaudières d'une puissance de 1200 chevaux, en remplacement d'une cheminée de 43 m de hauteur (fig. 168). Cette installation montre clairement les avantages du nouveau procédé au point de vue de la superstructure. Nous verrons par la suite qu'il procure également une économie sur la combustion et une chauffe régulière.

Résultats d'expériences. — Le tirage mécanique des foyers par le système de M. Prat a été employé dans tous les cas de combustion pratique, soit sur une batterie de chaudières à basse dépression, avec combustion de 70 à 80 kg. de charbon par mètre carré de grille et par heure ; soit à une chaudière à dépression moyenne, avec combustion de 150 kg.

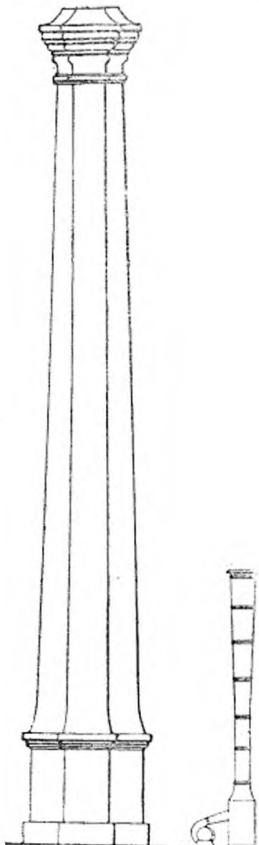


Fig. 168.

soit enfin à une chaudière à grande dépression, type locomotive, avec combustion de 500 kg. de charbon par mètre carré de grille.

Au point de vue industriel, le premier cas nous semble le plus intéressant, le second ne trouvant son application que dans les chaudières marines et le troisième pour les locomotives.

Nous donnons, dans le tableau suivant, les résultats d'expériences qui ont été faites à la filature « La Foudre » de la Société Pouyer-Quertier, dont nous avons déjà parlé.

Les chiffres des expériences des 6, 7, 8, 10, 11, 12 et 20 mai correspondent à la marche avec le tirage mécanique.

On voit, d'après ce tableau, que même en faisant abstraction des deux plus mauvaises journées de marche avec la grande cheminée, le 1^{er} et le 3 mai, avec le même qualité de charbon et en employant les mêmes chaudières, les vaporisations ont été :

1 ^o	Pendant les sept jours de marche avec le tirage mécanique, par kilogramme de charbon brut	8 ^k ,15
2 ^o	Pendant les huit jours de marche avec le tirage naturel, par kilogramme de charbon brut . . .	7 ^k ,47

soit une différence, en faveur du tirage mécanique, de :

$$\frac{0,68}{7,47} = 9,1 \text{ %}$$

Mai 1897	TEMPÉRATURE extérieure	CHARBON	DÉCHETS	EAU VAPORISÉE	EAU	TEMPÉRATURE des gaz à l'entrée de l'économiseur
		brut brûlé par jour	de CHARBON	en MÈTRES CUBES par jour	VAPORISÉE par kilogr. de charbon	
		KILOGRAMMES	0,0			GREEN
	degrés					degrés
4	8	9 460	21,50	66,400	7,01	246
3	8	12 980	44,20	91,800	7,07	272
4	8	11 440	45,60	96,000	7,54	278
5	*	11 550	45,80	84,500	7,31	282
6	7	10 780	46,30	90,300	8,37	293
7	8	10 560	47,10	87,600	8,29	296
8	9	9 430	21,30	73,520	8,03	302
10	8	11 660	44,50	81,880	7,02	282
11	7	10 560	47,30	88,600	8,39	272
12	6	10 450	47,08	89,400	8,55	284
13	5	11 410	47,50	84,200	7,57	264
14	3	10 780	46,70	86,700	8,04	303
15	40	9 790	49,90	73,000	7,45	282
17	43	11 550	44,70	77,500	6,70	266
18	43	10 890	46,50	80,400	7,35	266
19	46	10 670	46,50	83,700	7,84	278
20	42	9 900	46,90	84,000	8,48	288

Grille à lames de persiennes, système Poillon.

La grille imaginée par M. Poillon, ingénieur, à Amiens, est formée de barreaux ou de plaques à lames de persiennes placés transversalement à la longueur du foyer. Leurs lumières sont, au plan supérieur qui reçoit le combustible, aussi étroites qu'il est nécessaire pour brûler complètement tous les combustibles, avec le minimum pratique d'air nécessaire à la combustion et avec une faible pression d'air dans le cendrier, afin d'éviter l'entrainement des cendres dans les carreaux.

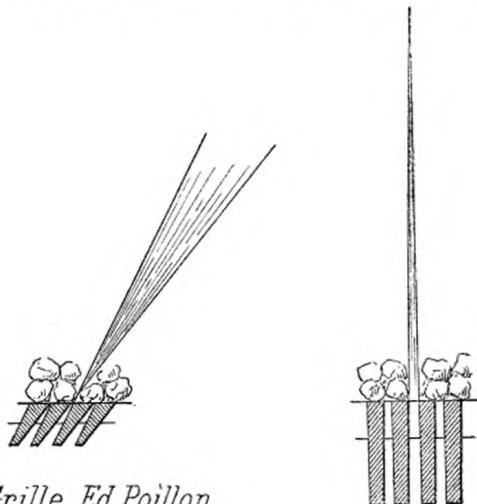
*Grille Ed. Poillon**Grille ordinaire*

Fig. 169.

Les lumières sont plus larges dans le bas que dans le haut, pour faciliter l'accès de l'air et aussi pour forcer les flammes à s'épanouir en éventail. De plus, les lumières des premières séries de plaques, à partir de l'entrée du foyer, sont inclinées vers l'arrière, de manière que l'air sortant de ces lumières force les flammes à s'incliner vers l'autel.

Cette disposition donne donc une sécurité absolue contre les détériorations des tôles de coup de feu des chaudières, car, s'il se produit un vide dans la masse incandescente, le jet d'air incliné formera une gerbe oblique qui n'atteindra pas les bouilleurs et les tubes que sous un angle très ouvert. Il ne pourra donc pas se former des dards verticaux de chalumeau, destructeurs des tôles et des tubes.

Un deuxième avantage, très important, que présente cette grille, c'est

le brassage spontané des gaz près de l'autel (sans addition d'air froid toujours onéreuse) avant leur départ du foyer, brassage qui facilite leur combustion complète.

L'Association des propriétaires d'appareils à vapeur d'Amiens a déterminé la proportion d'acide carbonique des produits de la combustion d'une chaudière munie de grilles à lames de persiennes ; en voici les résultats :

« Dans nos essais avec la grille système Poillon, la proportion d'acide carbonique dans les gaz de la combustion, se tient, en marche normale,

Coupe

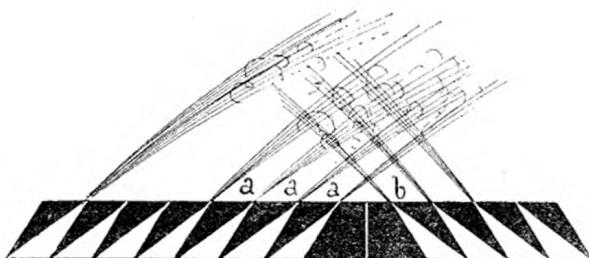


Fig. 470.

dans les environs de 12 0/0. Comme la combustion théorique, c'est-à-dire celle réalisée avec le volume d'air strictement nécessaire à la combustion complète du charbon, conduit à une proportion d'acide carbonique de 18,9 0/0, le rapport $\frac{18,9}{12}$ donne le nombre de fois que le volume d'air théorique est employé. Dans nos essais avec la grille à lames de persiennes, on a donc marché avec 1,6 fois le volume d'air théorique. C'est un résultat absolument satisfaisant ».

En effet, on ne trouve généralement que 5 à 8 0/0 d'acide carbonique dans les fumées, c'est-à-dire que l'on emploie trois fois et demi et deux fois et demi le volume d'air théorique. Cet excès d'air emporte dans la cheminée une quantité considérable de chaleur perdue qui peut aller jusqu'à 40 0/0. La grille Poillon réduit donc cette perte au minimum pratique.

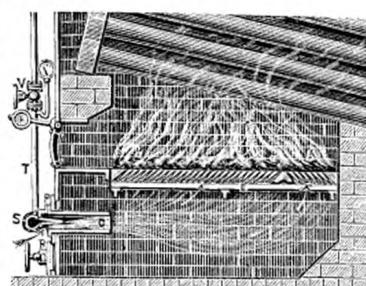


Fig. 471.

Cette considération explique les résultats remarquables d'économie et de fumivorité obtenus dès le début des applications de cette grille.

Ainsi, MM. Andresset et fils, de Louviers, constatent, dès juin 1897, une économie en poids de 18 0/0; la Société régionale d'électricité de Caen, une économie de 18 à 20 0/0 et, tout récemment, MM. Albert Lecœur et C^{ie}, de Rouen, une économie de 18 à 20 0/0 également; M. Aug. Rouen, teinturier à Rouen, une économie en poids de 23 0/0, et il n'emploie plus que des fines à 28^f,50, au lieu de gros charbons flambants à 38 francs la tonne, d'où économie de 42 0/0 en argent, soit 3 814 francs par an. Or, la grille Poillon lui a coûté tout installée : 900 francs, et M. Rouen obtient en outre une fumivorité complète.

La Compagnie des chemins de fer du Midi, dès la prise des brevets Poillon, en 1897, a appliqué cette grille aux chaudières de ses ateliers de Bordeaux, pour y brûler les résidus des boîtes à fumée des locomotives de son réseau; elle en a continué l'application pour les six chaudières de 200 m² chacune de sa station centrale d'électricité, installée à Bordeaux.

La conduite du feu se fait très facilement selon les besoins de l'usine au moyen des valves de réglage des souffleries.

Ces valves permettent d'augmenter la production de vapeur jusqu'à 50 0/0 de la production avec la grille ordinaire, de sorte que des installations, devenues insuffisantes comme surface de chauffe, n'ont pas besoin d'être augmentées en appliquant ce système.

De même, il arrive souvent que, l'usine s'étant développée, le tirage de la cheminée est devenu insuffisant. La grille à lames de persiennes utilisant une soufflerie, la cheminée ne sert plus qu'à l'évacuation des produits de la combustion. Il a été possible, dans certains cas, de diminuer de 7 m la hauteur d'une cheminée, qui était pourtant insuffisante, et de supprimer aussi une cheminée sur les deux qui desservaient chacune une chaudière, en appliquant les grilles à lames de persiennes, tout en augmentant la quantité de charbon brûlé par chaudière et, par suite, la puissance de vaporisation des chaudières.

On peut donc réduire la hauteur des cheminées existantes et, pour les installations nouvelles, se contenter d'une cheminée de 15 m, ce qui occasionne une économie sensible, tant dans la construction de la superstructure que dans les fondations elles-mêmes.

Dans les chaudières à tirage naturel, chaque fois qu'on ouvre les portes du foyer, soit pour le chargement du charbon, soit pour le décrassage, l'air froid s'engouffre dans le foyer. Il en résulte deux inconvénients :

1^o Perte de combustible par suite du refroidissement des gaz.

2^o Fatigue continue des tôles de coup de feu et des tubes, en raison des contractions, au moment de la rentrée d'air froid, et des dilatations quand les portes sont fermées.

Avec la grille à lames de persiennes, ces inconvénients disparaissent puisqu'une pression existe dans le foyer, au lieu de la dépression produite par le tirage naturel; quand on ouvre les portes, les gaz ont une tendance à sortir et il n'y a plus de dilatations et de contractions à craindre pour les tôles ou les tubes.

La grille Poillon résout la question de fumivorité puisqu'elle permet l'emploi de combustibles maigres anthraciteux; même avec des charbons demi-gras, cette fumivorité est obtenue, à cause du brassage des gaz qui opère leur combustion complète.

Les mâchefers ne collent jamais sur la grille, parce que les barreaux sont constamment refroidis par l'injection d'air et de vapeur. Ces barreaux peuvent donc se conserver indéfiniment.

Dans les foyers ordinaires, le décrassage est très pénible pour le chauffeur qui doit, au moyen de la pince, détacher le mâcheron adhérent aux barreaux, puis enlever ce mâcheron; l'opération dure plusieurs minutes et le chauffeur est, pendant ce temps, exposé à la chaleur rayonnante du foyer.

Avec la grille à lames de persiennes, le décrassage se fait en une minute avec la râclette seule, puisque le mâcheron ne colle pas. Cette rapidité dans le décrassage fait que la pression de la vapeur dans la chaudière ne tombe pas pendant l'opération.

La vue en bout des barreaux montre comment ils sont tous encastres les uns dans les autres; quoique placés transversalement à la longueur du foyer, ils ne peuvent être déplacés par la râclette cintrée et à angles arrondis dont on doit se servir.

La surface laissée libre par les barreaux entre eux, est de 0^{m²},16 environ par mètre carré de surface de grille; cette surface libre, qui peut être portée à 0^{m²},25 dans les cas de grande consommation, est plus que suffisante pour éviter le grave inconvénient des entrainements de cendres dans les carreaux, car elle permet de ne souffler dans le cendrier qu'à une très faible pression. De plus, le renversement des flammes et du courant gazeux, près de l'autel, s'oppose encore à cet entraînement de cendres.

La grille à lames de persiennes s'applique à tous les foyers de chaudières et de four, ainsi qu'aux foyers intérieurs horizontaux de chau-

Association des propriétaires d'Appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise.

RÉSULTATS D'ESSAIS COMPARATIFS DE VAPORISATION

avec la Grille Ed. Poillon et des menus, et avec la Grille ordinaire et du tout-venant.

Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs et 3 réchauffeurs.

Surface de chauffe de la chaudière 57^{m²},80.Surface de chauffe des réchauffeurs 63^{m²},60.Surface de plan d'eau 9^{m²},39.Surface de chauffe totale 121^{m²},240.Surface de grille 2^{m²},61.

Rapport de la surf. de chauffe de chaud. à la surf. de grille 22.

Volume de chambre de vapeur 3^{m³},960.

DONNÉES GÉNÉRALES		Du mardi soir au mercredi soir Marche avec grille E. Poillon Charbon menu	Du mardi soir au mercredi soir Marche avec grille ordinaire Charbon tout venant
Durée des essais	Ils commençaient à l'arrêt du soir, la couverture des feux étant faite, et se terminaient le lendemain soir dans les mêmes conditions, en comprenant par conséquent le poids de charbon exigé pour la couverture des feux		
Pression moyenne de la vapeur produite.	heures	10	11 3/4
Calories de 1 kg de vapeur.	kg.	5,10	4,50
Eau	calories	654,93	653,72
	degrés	58	64
	kg.	16 095	16 702
	—	14 662	15 065
	—	— 234	— 143
	—	+ 131	+ 50
	—	14 559	14 972
Charbon	Nature.	Mélange 2/5 fines grasses Liévin 3/5 fines maigres Nœux	Tout venant Liévin Composition 40 %
	Charbon brûlé brut.	kg.	2 380
	Déchet fait sur la grille	—	276
	Déchet 0,0 du charbon brut.	%	11,6
	Carbone fixe	kg.	69,028
	Analyse sommaire Matières volatiles.	%	17,287
	Cendres	%	11,860
	Eau hygroscopique	%	1,823
Pression du vent dans le cendrier.	mm. d'eau	10,5	»
Régime de la Combustion	Consommation de charbon brut par heure	kg.	232
	— par heure et m ² de surf. de ch. de chaudière	—	4,0
	— — de surf. de chauffe totale	—	1,91
	— — de surface de grille	—	89
	— proportionnelle par jour de 11 h. 1/2	—	2 668
Effet utile du Combustible	Poids d'eau à 0° changé en vapeur par kg de charbon brut.	—	6,3
	Calories utilisées par kg de charbon brut	calories	4 126
	Chaleur de combustion du charbon brut au calorimètre	—	7 588
	Fraction d'utilisation de la chaleur de combustion	%	54,4
Rendement apparent	Correction du poids d'eau introduit	kg.	— 234
	Poids de vapeur sorti de la chaudière	—	15 861
	— — — par kg de charbon brut	—	6,83
Régime de la Vaporisation	Poids de vapeur sorti de la chaudière par heure.	—	1 586
	— — — par h. et m ² de surface de ch. de chaudière	—	27,4
	— — — de plan d'eau.	—	169
	— — — par h. et m ² de chamb. de vap.	—	401
Prix de la tonne de charbon rendue en gare	Fr.	10,50	15
Prix de revient de 1 000 kg de vapeur	Fr.	1,54	2,16

$$\text{Économie réalisée par la grille Ed. Poillon : } \frac{2\ 16 - 1,54}{2,16} = 28,7 \%$$

dières Galloway, marines, etc... Dans ce dernier cas, la partie centrale de la grille est disposée comme pour les foyers extérieurs, c'est-à-dire à barreaux transversaux, avec lumières inclinées, pour la majeure partie, vers l'autel; pour le quart environ, près de l'autel, elles sont inclinées vers la porte du foyer. Les parties latérales sont formées de barreaux ou de plaques longitudinales, dont les ouvertures renvoient les flammes vers le ciel du foyer, tandis que, dans les grilles ordinaires, ces flammes viennent s'éteindre immédiatement sur les tôles voisines relativement froides.

L'installation d'une grille à lames de persiennes se fait facilement en 24 heures, quelquefois en six heures, sans toucher aux œuvres vives du foyer. Dans les foyers extérieurs, il suffit de baisser de quelques centimètres les sommiers portant les barreaux de la grille ordinaire. Dans les foyers intérieurs, on se sert des sommiers existants.

Le tableau précédent donne les résultats d'essais qui ont été effectués par l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur d'Amiens, sur une grille ordinaire et une grille à lames de persiennes, système Poillon.

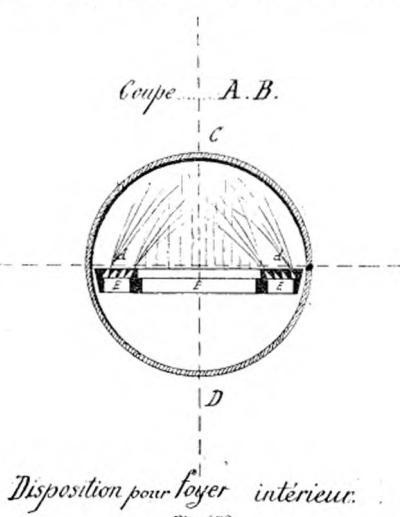


Fig. 172.

Grille Kudlicz.

M. Donders, constructeur à Nancy, exposait une grille inventée par M. Kudlicz, de Prague (Autriche), dans le but de permettre la combustion parfaite de tous les combustibles solides, depuis les meilleures houilles en morceaux jusqu'aux déchets les plus pauvres et les plus menus, tels que frasiers, escarbillles, poussiers de coke et de houille, tan, sciures, etc.

L'invention consiste essentiellement dans le remplacement des barreaux de grille par des plaques en fonte percées de trous coniques, à travers lesquels passe un courant d'air forcé (fig. 173).

Le foyer comprend : une ou plusieurs caisses à vent en fonte C, les plaques perforées *a*, un ou plusieurs souffleurs *t* avec leurs petits tuyaux de vapeur *T*.

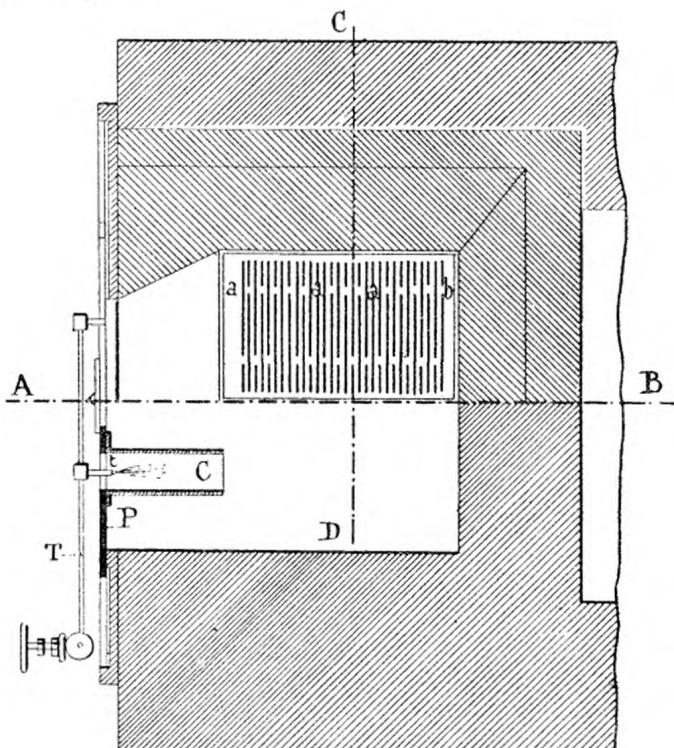


Fig. 473.

La caisse à vent étant close de toutes parts, sauf à sa paroi supérieure, formée des plaques perforées sur lesquelles on répand le combustible, on fait entrer dans les souffleurs un mince filet de vapeur. La vapeur, agissant comme dans l'injecteur, aspire et refoule l'air dans la caisse. Cet air comprimé ne trouve d'autre issue que les trous des plaques. Il pénètre avec force, par ces trous, dans la couche du combustible où il exerce deux actions importantes : une action mécanique en soulevant et en agitant le menu combustible ; une action chimique en fournissant l'oxygène comme dans les autres foyers.

Il en résulte les effets suivants :

1° Chaque petit grain de charbon est projeté en l'air ; il se trouve ainsi isolé et attaqué de tous côtés par l'oxygène, de telle sorte qu'il est forcé de brûler.

2° La vapeur qui pénètre dans la masse en combustion empêche les scories de coller sur les plaques, ce qui permet de les retirer facilement par la porte du foyer.

3° En se mélangeant à l'air qu'elle chasse dans le foyer, la vapeur chauffe cet air. L'économie qui en est la conséquence suffit à elle seule à payer la dépense de vapeur.

4° Cette vapeur d'eau, en traversant la masse en ignition, se décompose en partie et fournit de l'oxygène exempt d'azote qui active encore la combustion.

La grille Kudlicz s'adapte à tous les genres de foyers : foyers ordinaires de chaudières, foyers intérieurs, foyers à étages, chaudières de brasseries, fours à pudler, etc...

Dans une installation de plusieurs chaudières où il y a toujours de la vapeur, on peut amener de suite un jet de vapeur sous le combustible allumé et produire immédiatement le maximum de chaleur.

Lorsqu'on n'a qu'une chaudière et que cette chaudière ne contient plus de vapeur, au moment de l'allumage, il faut au chauffeur une petite provision de houille en morceaux qu'il brûle jusqu'à ce qu'il ait de la vapeur à 1/2 kg. de pression ; il peut alors charger du menu et souffler.

Pour éviter les frais du rallumage lorsqu'on ne vide pas la chaudière pour la nettoyer, on couvre le feu sans aucun danger le soir. Le lendemain matin, le chauffeur ouvre le robinet de réglage, il décrasse et charge la grille et la chaudière est de suite en pression.

Si on désire arrêter le feu subitement, on le couvre de combustible nouveau et on supprime le jet de vapeur ; le feu peut ainsi couver durant plusieurs heures et quand on veut le faire reprendre, on ouvre le robinet d'introduction de vapeur.

La facilité de réglage du feu par la manœuvre du robinet de vapeur,

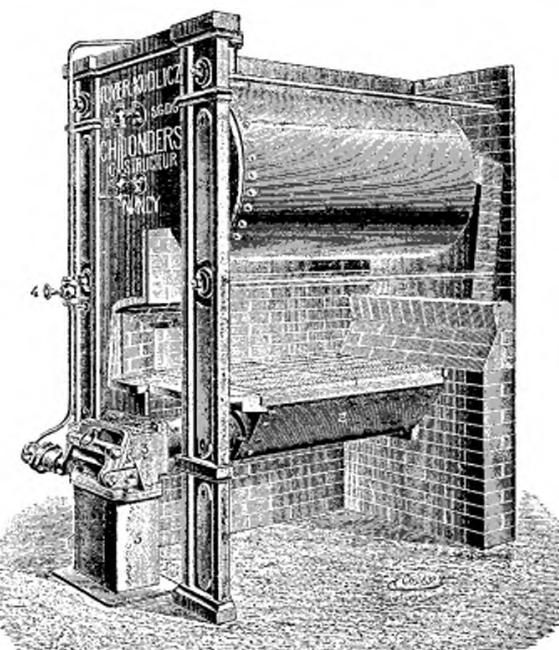


Fig. 474.

offre un grand avantage aux foyers qui doivent fournir tantôt une chaleur douce, tantôt une température très élevée (chaudières de brasserie, de teinturerie, de blanchisserie, etc...)

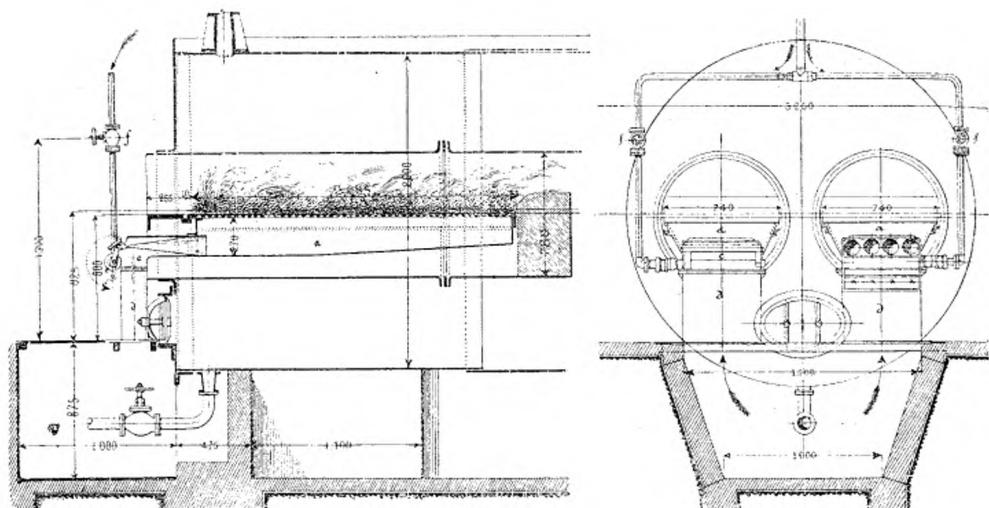


Fig. 175.

Les plaques-grilles remplaçant les barreaux étant percées d'une multitude de petits trous indéformables et ne se bouchant pas, évitent les jets de chalumeau. Les chaudières munies de ces grilles n'ont jamais subi d'avaries aux tôles de coup de feu. Au lieu de charger démesurément sa grille avec de gros morceaux jusqu'à toucher la tôle, le chauffeur qui voit baisser sa pression, se contente d'ouvrir un peu plus le robinet du souffleur et garde un feu très bas.

La dépense de vapeur est insignifiante. Des essais ont montré que cette dépense a été de 90 kg. par heure pour une chaudière de 100 m², dont la production a été poussée à 27 kg. de vapeur par mètre carré et par heure, soit 3 0/0 ; elle est évidemment moindre pour une marche modérée.

Les charbons qui permettent la combustion la plus rapide sont les maigres, parce que ne collant pas ensemble, ils se laissent plus facilement soulever par l'air sous pression.

Résultats d'essais. — 1^o Essais de rendement effectués avec le concours de l'administration impériale des mines de Dortmund (Westphalie) à l'usine de Hörde, où 80 chaudières sont munies de la grille Kudlicz.

Les deux générateurs soumis à l'essai étaient des générateurs à bouil-

leurs de construction identique munis, l'un d'une grille ordinaire, l'autre d'une grille Kudlicz et ayant chacun 3^{m²},13 de surface de grille et 96^{m²},90 de surface de chauffe.

La chaudière à grille ordinaire était chauffée avec de la houille (teneur en cendres 7,86 0/0, prix 10^f,60 la tonne). La chaudière à grille brevetée était chauffée avec des poussiers de coke (teneur en cendres 20 0/0, prix 3^f,30 la tonne).

GENRE DE GRILLE	Grille ordinaire	Grille brevetée
Durée de l'essai	5 h. 28 m.	5 h. 20 m.
Température de l'eau d'alimentation	41° centigrades	41° centigrades
Eau vaporisée	5 100 kg.	6 630 kg.
Poids du combustible employé	1 057 ^k ,5	4 282 ^k ,5
Eau vaporisée par kilogramme de combustible	4 ,82	3 ,17
par mètre carré et par heure	9 ,72	12 ,90
Prix du charbon employé par mille kg. de vapeur	2 fr. 20	0 fr. 64

2^e Essai de vaporisation effectué sur une chaudière à bouilleurs munie d'une grille Kudlicz, avec du poussier de houille grasse de Ronchamp, aux Ateliers de la Société Alsacienne de constructions mécaniques, à Belfort.

Conditions de l'essai :

Surface de chauffe de la chaudière	70 m ²
Surface de grille	2 ^m ,61
Durée de l'essai	8 ^h ,30
(De 8 heures du matin à Midi et de 1 ^h ,1/2 à 6 heures)	
Température moyenne de l'eau introduite	15° environ.
Chaudière non isolée des autres au point de vue de la production de vapeur, mais alimentée séparément. Soufflerie alimentée par la chaudière elle-même. Injecteur Koerting, alimenté également par la chaudière.	
Pression moyenne de la vapeur produite	6 ^k ,75
Poids de l'eau introduite	12 930 kg.
Charbon brûlé brut humide (sans l'allumage)	2 000 »
Déchet fait sur la grille	181 »
Déchet pour 0/0 du charbon brut humide	9 0/0
Consommation de charbon brut par heure	235 ^k ,300
Consommation de charbon brut par m ² de surface de chauffe	3 ^k ,36
Consommation de charbon brut par heure et par m ² de surface de grille	90 ^k ,5
Poids de la vapeur produite par heure et par m ² de surface de chauffe	21 ^k ,74
Poids de l'eau changée en vapeur par kg. de vapeur	6 ^k ,46

Ces résultats montrent que dans des conditions normales de marche, c'est-à-dire la chaudière n'étant pas trop poussée, il y a avantage à brûler du poussier sur la grille Kudlicz et que le rendement obtenu est très bon.

Signé : LE DIRECTEUR.

Enfin, à la suite d'essais effectués par l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise, M. Schmidt, ingénieur en chef de cette Association, s'exprime comme suit au sujet de l'emploi des grilles Kudlicz.

« Le foyer Kudlicz a été vivement critiqué, dès ses premières applications chez nous. On lui a reproché d'exposer à des chances de coup de feu; je dois dire que je n'en connais pas d'exemple jusqu'ici et je crois même, d'après la très grande division des trous et l'épanouissement de la flamme, qu'il ne doit pas pouvoir aisément se produire un dard. Les cendres, d'ailleurs, ne fondent pas aisément et n'adhèrent pas absolument à la grille, de sorte que la combustion est toujours réellement très divisée...

Enfin, on a objecté l'encombrement des carreaux par les cendres enlevées au delà de l'autel. Il se peut qu'en soufflant très fort et en ne mouillant pas assez des poussières très fins, on ait des entraînements au delà de l'autel; il faut évidemment régler le vent suivant la combustion. Cependant je connais un exemple d'une chaudière semi-tubulaire de 100 m³, à deux bouilleurs, qui vient de marcher trois mois et demi sans nettoyage, quoique cette période comprenne les tâtonnements de la mise en feu de la grille Kudlicz.

Cette grille est donc une solution intéressante de la combustion des poussières maigres, lorsqu'on peut se les procurer à bas prix. »

CHAPITRE VIII

ÉPURATION DES EAUX

Les matières en suspension contenues dans l'eau d'alimentation des générateurs de vapeur, produisent, au fur et à mesure de l'évaporation, des dépôts plus ou moins volumineux qui peuvent s'accumuler sur les tôles ou dans les tubes.

Ces dépôts, qu'ils soient pulvérulents ou qu'ils donnent lieu à des incrustations, sont nuisibles au fonctionnement et au rendement des chaudières ; souvent même, ils portent atteinte à la sécurité en occasionnant des accidents plus ou moins graves, mais toujours fâcheux. La question de l'épuration préalable des eaux d'alimentation présente donc un grand intérêt pour les industriels qui emploient des générateurs de vapeur, quel que soit le système adopté pour le genre d'industrie en cause.

Nous ne nous étendrons pas sur les nombreux inconvénients qui sont occasionnés par l'impureté des eaux ; nous rappellerons seulement que les parois de tous les générateurs se recouvrent plus ou moins rapidement d'incrustations, suivant le régime et la nature des eaux employées à leur alimentation.

Les chaudières multitubulaires, à production intensive de vapeur, sont obstruées par les dépôts, avec des eaux très chargées de sels terreux, quand le nettoyage des tubes n'est pas obtenu d'une façon complète et régulière, et lorsque les extractions n'ont pas été faites en temps utile.

Sans envisager l'obstruction des tubes, les simples dépôts de tartre produisent une surépaisseur qui diminue la conductibilité du métal et occasionne une perte de rendement très sensible. Le chauffeur force alors son feu, de sorte qu'on arrive bien vite à des consommations exagérées de combustible. Si les croûtes calcaires augmentent, les parois des chaudières, soumises à l'action du feu, sont isolées de l'eau ; elles se surchauffent et donnent lieu à des dilatations inégales qui fendent

les tôles, dessertissent les tubes et peuvent mettre le générateur hors de service.

Les appareils d'épuration, qui figuraient en assez grand nombre à l'Exposition, permettent de remédier en partie à ces multiples inconvénients, en évitant aux générateurs des nettoyages fréquents qui se traduisent par une perte de temps et d'argent et une usure des organes principaux.

Appareils Buron

Epurateur à froid à préparation automatique de réactif (fig. 176).— Dans cet appareil, l'eau impure arrive en A et, partant d'un bac

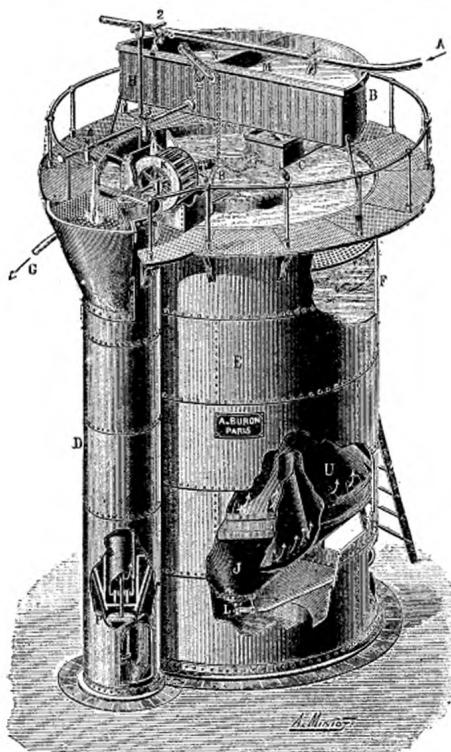


Fig. 176.

distributeur N, se déverse, d'une part d'un robinet 3, d'autre part d'un robinet 4, et vient tomber sur la chaux éteinte contenue dans le panier du saturateur D. Elle forme alors un lait de chaux brassé

constamment par le malaxeur, lequel est actionné par une roue à augets K, mise en mouvement par la chute du robinet 3.

Le lait de chaux remonte latéralement dans le saturateur et se déverse en T à l'état d'eau de chaux saturée claire.

La dissolution de soude se prépare une fois par jour dans le bac M, d'où elle se rend dans un petit réservoir C, pour s'écouler en R.

Les trois liquides en contact arrivent ainsi en S, à la partie supérieure d'une colonne centrale, pour se déverser dans le décanteur où s'opère le mélange et où commence la réaction.

Arrivé à la partie supérieure de l'appareil, le courant d'eau remonte dans l'intervalle des deux cylindres et, dans son faible mouvement ascensionnel, se trouve brisé et divisé par les chicanes U, ce qui permet à l'eau épurée d'abandonner les quelques matières en suspension qu'elle peut encore contenir. Les dépôts se rassemblent à la base de l'appareil, d'où ils sont évacués journallement par la soupape de vidange L.

Après avoir traversé un filtre sommaire F, l'eau épurée se déverse dans un compartiment auquel est fixé un ajutage G qui la conduit à la bâche alimentaire.

Tous les écoulements sont réglés de telle sorte qu'ils se produisent ou s'arrêtent instantanément par le simple jeu d'un flotteur principal H, agissant sur une surface très restreinte.

En résumé, avec l'emploi de cet appareil pratique, certaines eaux peuvent être ramenées à l'équivalent de l'eau pure ; il permet, dans bien des cas, d'utiliser les eaux jusqu'alors improches à l'alimentation des chaudières.

Quand il s'agit d'une installation marchant à condensation, l'élimination des carbonates nécessite l'intervention d'eau de chaux comme réactif et la difficulté qui se présente de suite réside dans la préparation de ce réactif à teneur constante et sa distribution automatique.

L'appareil précédent offre, à ce point de vue, toute garantie.

Epurateur par la vapeur d'échappement. — Le but de cet appareil également fabriqué par M. Buron, est d'utiliser la vapeur d'échappement des machines pour épurer l'eau, et, en outre, de permettre l'alimentation des chaudières avec de l'eau à une température constante voisine de 100°.

A part les eaux contenant du sulfate de chaux, pour l'élimination duquel il faut avoir recours au carbonate de soude, toutes les autres, une fois soumises à l'action de la chaleur, peuvent être utilisées pour

l'alimentation des chaudières, dont les organes privés alors de tartre conservent toute leur puissance de conductibilité. La tartre se trouve éliminé à l'ébullition dans l'appareil, sous forme de dépôts, faciles à évacuer. De plus en utilisant la vapeur d'échappement, l'épuration n'entraîne aucune dépense. Il en résulte, au contraire, une économie sur le combustible qui varie de 20 à 30 % suivant l'état des chaudières.

La marche automatique de l'appareil dépendant absolument de celle du moteur, on évite la main-d'œuvre de surveillance. L'application peut être faible également avec de la vapeur vive provenant du générateur ; mais, dans ce cas, l'économie est moins grande.

L'appareil se compose d'un récipient cylindrique ou réchauffeur proprement dit, de capacité variable suivant le volume d'eau à traiter (fig. 177). Refoulée hors du cylindre, la vapeur arrive en A, dans le purgeur d'huile F, où elle est débarrassée des matières grasses qui s'écoulent par le tuyau inférieur.

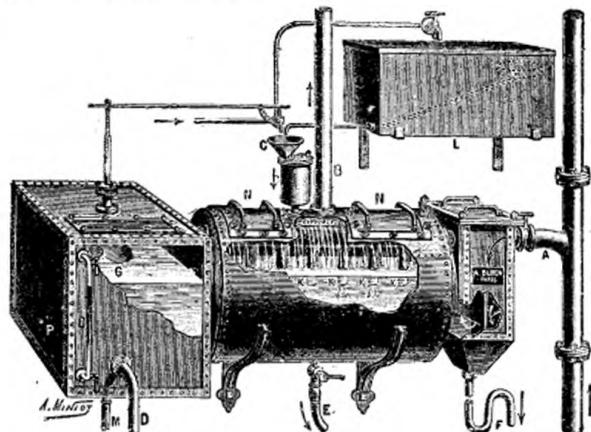


Fig. 177.

Au sortir du purgeur, la vapeur exempte d'huile pénètre dans un tuyau collecteur H, muni à sa partie supérieure d'un certain nombre de tubes K qui plongent légèrement dans toute la surface de la masse d'eau à réchauffer, de niveau invariable. Ce dispositif a l'avantage d'assurer le contact intime de l'eau et de la vapeur, et de provoquer un barbotage continu. L'acide carbonique peut ainsi se dégager et la dissociation des sels calcaires s'opérer.

L'arrivée de l'eau se fait à la partie supérieure, au moyen d'un robinet commandé par un flotteur G.

Elle est amenée dans le réchauffeur par un siphon C et vient se répandre sur une rigole métallique perforée qui la divise en très petites

quantités : elle retombe ensuite en pluie fine, en traversant la nappe de vapeur, celle-ci, en contournant la rigole, s'échappe dans le sens contraire de la chute d'eau par le tuyau B.

Il est facile de se rendre compte qu'au moment de l'alimentation, qui se fait par le tuyau D relié à la pompe alimentaire, le niveau de l'eau baisse de suite dans l'appareil et fait agir le flotteur. L'eau froide, dans son mouvement descendant, condense aussitôt une partie de la vapeur ; celle-ci remonte, et ainsi réchauffée, elle retombe dans la masse d'eau en ébullition et se met rapidement en équilibre de température avec elle.

Après l'épuration, l'eau arrive dans un réservoir adjacent P, dans lequel agit, à l'abri des remous de l'ébullition, le flotteur G qui règle l'admission de l'eau arrivant dans l'appareil.

Les boues résultant de l'épuration sont évacuées par un robinet de vidange E, et l'appareil est muni d'un ou plusieurs trous d'homme N, permettant le nettoyage intérieur.

La pose est facile ; elle consiste simplement à raccorder l'appareil en A sur le tuyau d'échappement existant.

Pour les eaux exemptes de carbonates, mais contenant des sulfates ou autres sels, l'emploi de cet appareil est également utile. Au moyen d'un dispositif spécial très simple, il est facile de distribuer automatiquement une dissolution de soude préparée dans le bac L pour éliminer ces différents sels. L'épuration ayant lieu à une très haute température, le précipité se fait presque instantanément et, de plus, nécessite beaucoup moins de réactif que pour l'épuration à froid.

Pour l'emploi de la vapeur vive, l'appareil conserve sa force primitive, à part quelques détails d'agencement ; il est alors muni d'un régulateur d'admission qui évite toute perte de vapeur.

Réchauffeur-Détartreur, système Chevalet

M. Chevalet, constructeur à Troyes, avait installé, aux usines Suffren et La Bourdonnais, deux réchauffeurs-détartreurs de son système pour l'alimentation des générateurs de la Société Mathot.

Ces appareils, dont les applications sont aujourd'hui très nombreuses reposent sur le principe suivant : si l'on fait bouillir de l'eau pendant un certain temps à la température de 100°; au moyen de la vapeur ou des gaz chauds en barbotage, cette eau perd entièrement son acide carbonique ; les carbonates de chaux, de magnésie, de fer, se précipi-

tent à peu près totalement sous forme d'incrustations, qui s'attachent après toutes les surfaces et parois offertes par l'appareil.

On obtient donc, dans les réchauffeurs-détartreurs basés sur ce principe, de véritables pétrifications avec les eaux calcaires ; ces dépôts sont plus ou moins durs, suivant la nature des eaux, quelquefois mous et sans cohésion.

L'Appareil Chevalet comprend (fig. 178) :

1^o Une colonne détartrante formée au moins de cinq éléments facilement démontables, appelés tronçons, maintenus par des tirants de fer :

2^o Un réservoir d'eau détartrée, de capacité plus ou moins grande, supportant la colonne précédente.

3^o Une boîte à dégraisser la vapeur provenant de l'échappement des machines.

4^o Un flotteur gouvernant un robinet d'arrivée de l'eau à détartrer.

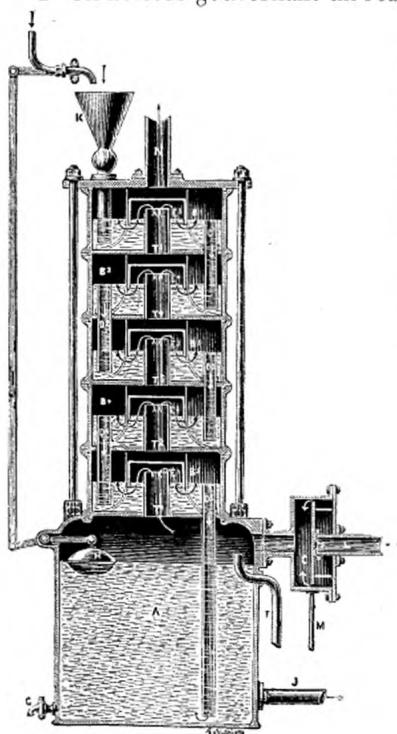


Fig. 178.

La colonne détartrante renferme des tuyaux T et des calottes E, qui obligent la vapeur à traverser l'eau en barbotage de façon à obtenir l'ébullition, et plusieurs tuyaux D, appelés trop pleins, qui font descendre l'eau lentement, de tronçon en tronçon, jusqu'au réservoir A où elle abandonne des particules de calcaire entraîné.

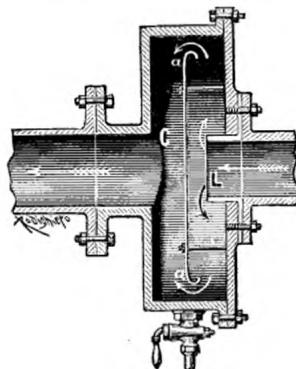


Fig. 179.

Comme ces trop pleins s'encressent aisément, il sont coniques, de manière à pouvoir loger plus de tartre.

Le réservoir A reçoit le flotteur R qui commande, par l'intermédiaire d'un levier et d'une tringle, un robinet à soupape placé dans le haut de la colonne pour régler l'entrée de l'eau dans l'appareil. Un tuyau de trop plein F, contenu dans le réservoir, est fermé en temps ordinaire par une soupape qu'un flotteur manœuvre, dès qu'il y a trop d'eau dans le réservoir. D'ailleurs, il est bon de placer un niveau d'eau sur le réservoir, surtout lorsque celui-ci est de grandes dimensions, pour suivre les variations du niveau.

La boîte à dégraissier la vapeur C comporte un tuyau L, qui oblige la vapeur à frapper sur une plaque de tôle placée à peu de distance de son extrémité, et un tuyau de purge M, qui assure l'écoulement des globules d'eau grasse. Quand on veut avoir de la vapeur parfaitement dégraissée, la boîte renferme deux ou trois plaques d'érassement (fig. 179).

Fonctionnement. — L'appareil étant rempli d'eau jusqu'à ce qu'elle s'écoule par le trop plein extérieur F, on envoie la vapeur d'échappement dans la boîte à dégraissier et on règle l'admission de cette vapeur au moyen d'un papillon, de façon qu'elle soit toujours visible par le tuyau d'échappement N.

Alimentation des chaudières. — L'eau sortant de l'appareil à la température de 100°, il en résulte que les pompes seules peuvent la refouler dans les chaudières ; mais il faut que cette eau soit en charge sur les pompes.

Si on voulait aspirer l'eau, il faudrait la refroidir au moyen d'un réfrigérant tubulaire. Il en serait de même en employant les injecteurs qui ne peuvent guère fonctionner avec de l'eau à une température supérieure à 65 ou 70°.

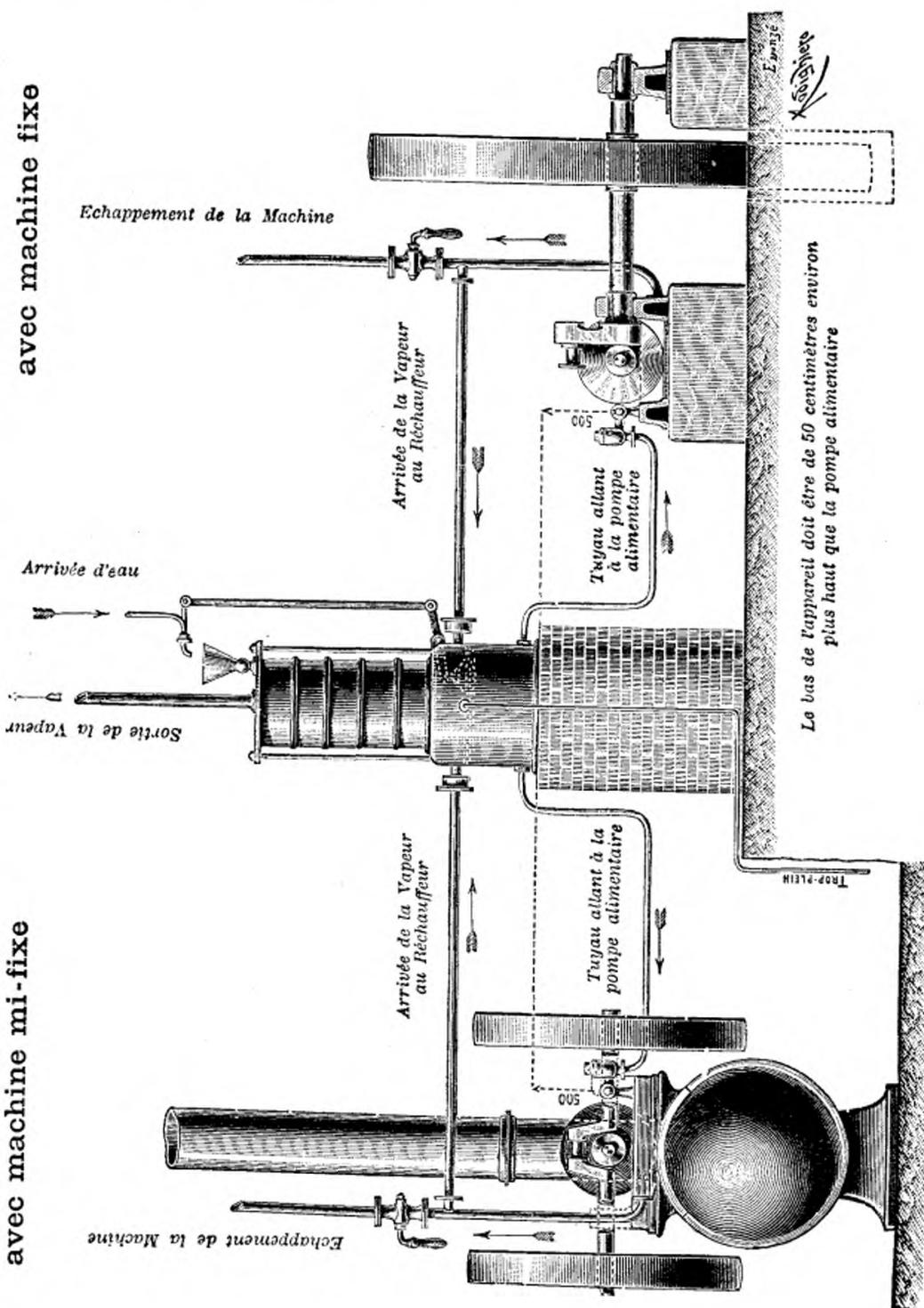
Lorsqu'on fait usage de pompes à vapeur, leur vapeur d'échappement est envoyée dans le réchauffeur, de sorte que l'alimentation ne coûte presque rien. Les purges de machines, d'appareils de chauffage, de sécheurs etc. doivent être également utilisées en les envoyant dans le réchauffeur ; elles permettent de recueillir l'eau distillée, tout en utilisant leur excédent de vapeur et en évitant le bruit qu'elles occasionnent habituellement.

Dans le cas du fonctionnement d'une machine à échappement libre, on a toujours trop de vapeur pour la faire passer en totalité dans le réchauffeur, et il y faut installer deux échappements. En utilisant toute la vapeur à produire de l'eau à 100°, on aurait six fois plus d'eau que la chaudière correspondante n'en a besoin. Ce résultat est précieux dans les usines, teintureries, brasseries, etc., où l'on dépense beaucoup plus

de vapeur pour le chauffage que pour les machines ; il est alors avantageux de faire fonctionner celles-ci à échappement libre, afin de ne pas perdre la chaleur contenue dans les eaux de condensation qu'on évacue.

SCHÉMA D'UNE INSTALLATION DE RÉCHAUFFEUR - DÉTARTREUR

avec machine mi-fixe
avec machine fixe



Nettoyage de l'appareil. — Ce nettoyage se fait généralement tous les trois mois, si l'on ne marche que de jour, et toutes les six semaines si l'on marche jour et nuit.

Le nettoyage est très simple ; il suffit de démonter les éléments et de gratter le tartre, toujours très tendre quand il est humide. L'opération dure environ une demi-journée.

Qualité des eaux à détartrer. — Le réchauffeur Chevalet se prête surtout au détartrage des eaux calcaires, qui sont d'ailleurs les plus communes ; mais, dans certains cas, le calcaire est accompagné d'une quantité plus ou moins grande de sulfate de chaux. Pour éliminer ce sulfate, l'eau est additionnée, dans le bassin, d'un peu de carbonate de soude avant d'entrer dans le réchauffeur.

Dans les grands appareils, la pompe alimentaire conduit une petite pompe à soude, qui prend le réactif dans un bassin spécial et règle ainsi, mathématiquement, la dose nécessaire.

M. Chevalet construit des réchauffeurs dans les conditions indiquées au tableau suivant :

N°	PIUSSANCE en chevaux-vapeur de 75 kg.	EAU détartrée (par heure)	DIAMÈTRE intérieur de la colonne détartrante	HAUTEUR totale de l'appareil	OBSERVATIONS
1	6 à 8	425	0 ^m ,300	2 ^m ,000	
2	42 à 45	225	0 ,400	"	
3	48 à 20	343	0 ,500	"	
4	25 à 30	300	0 ,600	2 ,400	
5	40 à 45	680	0 ,700	2 ,200	
6	60 à 65	900	0 ,800	"	
7	80 à 100	1 200	0 ,900	"	
8	130 à 150	2 000	0 ,975	2 ,600	25° hydrométriques;
9	200 à 225	3 000	1 ,070	3 ,000	l'eau de Seine titre de 47 à 20°.
10	400 à 450	6 000	1 ,200	3 ,500	A six tronçons.
11	800 à 900	12 000	1 ,300	4 ,250	A huit tronçons.
12	1 300 à 4 500	20 000	1 ,750	4 ,750	A dix tronçons.

Réchauffeur-Détartreur Chevalet, dernier modèle. — Pour répondre à certains besoins, notamment pour faciliter le montage de la tuyauterie quand les chaudières sont en sous-sol et le moteur au rez-de-chaussée, et pour obtenir un mélange plus intime de la vapeur avec l'eau à détartrer, M. Chevalet, d'accord avec M. Bobby, ingénieur à Londres, a imaginé d'introduire la vapeur d'échappement dans le pre-

mier tronçon supérieur de son appareil, et de lui faire suivre le même chemin que l'eau (fig. 181).

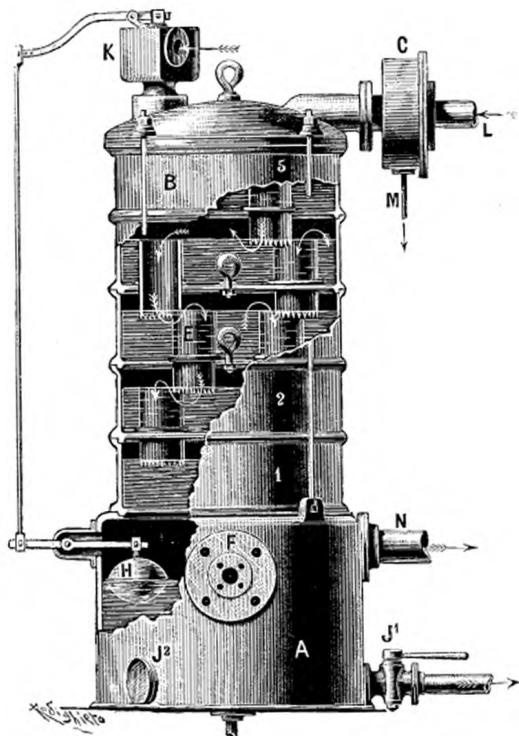


Fig. 181.

Le nouveau réchauffeur comprend donc : 1^o Un réservoir d'eau bouillante A, muni d'un trop-plein F, de prises d'eau diverses et d'un flotteur H qui commande le robinet d'arrivée de l'eau.

2^o Une colonne formée de cinq éléments B, ou plus selon le cas, facilement démontables, et portant à l'intérieur une série de tuyaux E, dentelés à la partie inférieure et formant barboteurs dans l'eau placée immédiatement au-dessous ; ces tuyaux remplacent les calottes de l'appareil précédemment décrit.

3^o Une boîte C, à dégraisser la vapeur.

4^o Un pot-entonnoir K, muni d'un robinet équilibré pour l'introduction de l'eau.

Il résulte de cette disposition d'ensemble que la vapeur entre par le haut de l'appareil et sort par le tuyau N du bas : elle chemine donc dans le même sens que l'eau.

Ce type de réchauffeur ne peut être recommandé que pour les usines où l'on a un grand excès de vapeur perdue. En cas d'insuffisance de vapeur, le barbotage ne se ferait que dans le tronçon supérieur et le détartrage de l'eau serait incomplet.

Il peut avoir un certain intérêt pour les industries qui ont besoin d'eau épurée bouillante, parfaitement indemne de traces d'huile.

Le montage et le nettoyage de ce réchauffeur-détartrleur s'opèrent de la même manière que dans le modèle ordinaire.

Epurateur, système Granddemange

MM. Mazeran et Sabrou, constructeurs à Paris, et successeurs de MM. Olry et Granddemange, présentaient, dans la classe 19, un épurateur système Granddemange qui appartient à la catégorie des réchauffeurs-détartreurs d'eau d'alimentation.

Cet appareil utilise la vapeur pour soumettre l'eau d'alimentation à une ébullition prolongée qui favorise le départ de l'acide carbonique et entraîne le tartre. Il se compose de plusieurs réservoirs ou cuves en tôles *a* superposées, où le tartre se dépose en majeure partie, d'une série d'anneaux *b* et d'une bâche *c* (fig. 182).

Les anneaux, maintenus par des tiges à écrous de serrage, constituent l'enveloppe de l'appareil ; chacun d'eux forme à la partie inférieure un plateau annulaire qui sert de support à la cuve placée immédiatement au-dessus.

La bâche emmagasine la quantité d'eau nécessaire ; elle reçoit une cuve de décantation *d*, dont le nettoyage s'obtient par le tampon *e*, et un trop-plein *k*, avec flotteur qui permet de surveiller le fonctionnement de l'épurateur.

Ces éléments sont complétés par un dégraisseur de vapeur *g*, quand on utilise la vapeur d'échappement des machines, et par un robinet d'eau froide *f*, dont le débit est réglé automatiquement par le flotteur *h*.

L'eau d'alimentation arrive dans la cuve supérieure et le flotteur *h* règle le débit de façon que le niveau reste constant dans le réservoir *c*. La vapeur arrive dans la même cuve ; elle chauffe brusquement l'eau et précipite une partie du tartre ; elle agit ensuite à la surface de l'eau, sur tout le pourtour du dôme, en provoquant une pulvérisation et un entraînement de l'eau, qui déborde en lames minces de la cuve *a* et du plateau annulaire *b*, offrant ainsi une grande surface à l'action de la

vapeur. Le tartre précipité se rassemble dans la deuxième cuve et ainsi de suite pour toutes les cuves superposées.

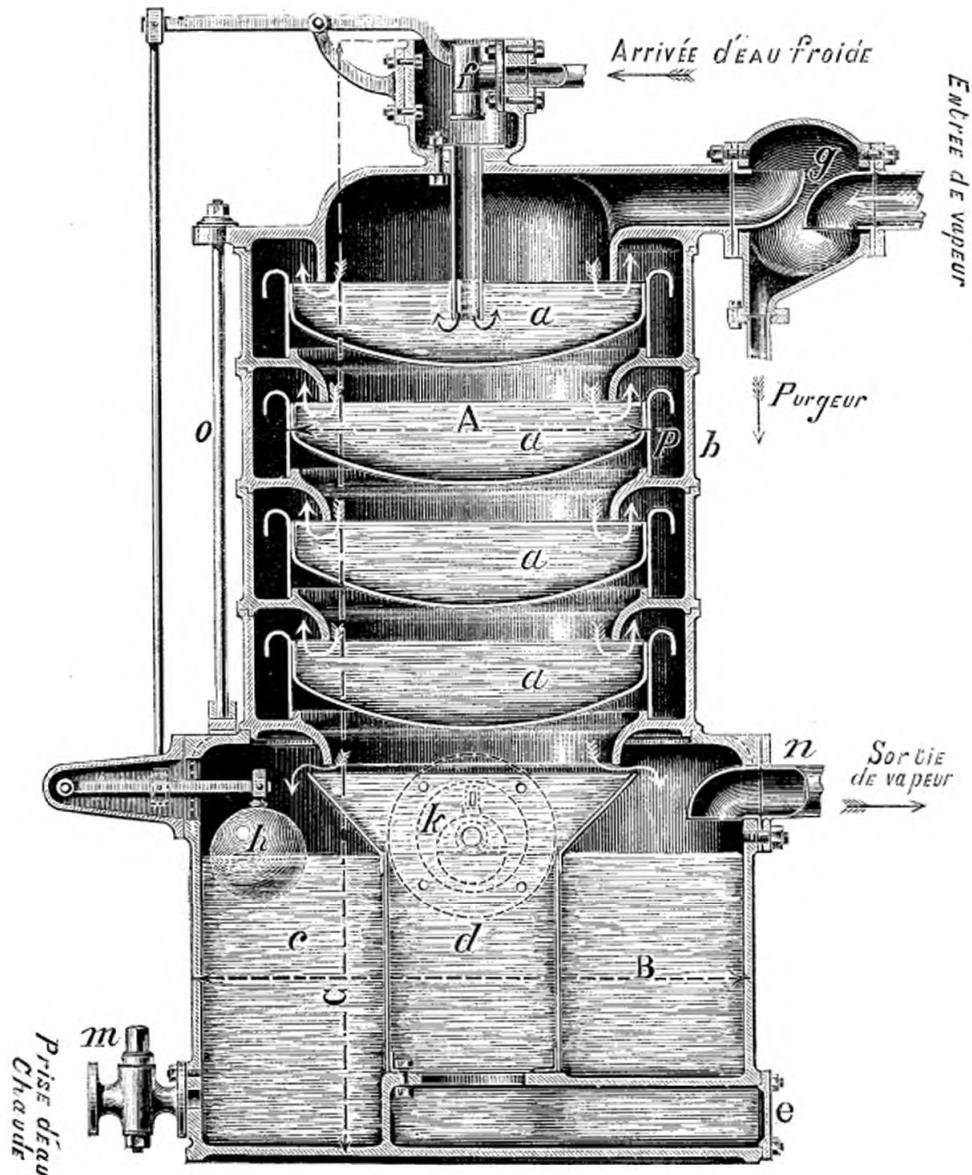


Fig. 482.

L'appareil, suivant le cas, comporte trois, quatre ou cinq cuves superposées qui sont parcourues successivement avant que l'eau n'arrive dans la cuve de décantation et dans la bâche *c*. Sa vitesse est très faible, par suite du large orifice de la cuve de décantation, ce qui permet aux matières en suspension de tomber à la partie inférieure, d'où elles peuvent être enlevées par le tampon de nettoyage.

La vapeur, intimement mélangée à l'eau, suit le même chemin que celle-ci ; elle se condense en grande partie, et l'excédent sort par la tubulure *n*.

Avantages de l'appareil.— Le mélange intime de l'eau et de la vapeur réduit au minimum la quantité de vapeur nécessaire pour porter l'eau à l'ébullition.

L'arrivée simultanée de la vapeur et de l'eau, à la partie supérieure de l'appareil, localise à cet endroit le dépôt de tartre et favorise le dégraissage de la vapeur d'échappement ; les matières grasses qu'elle peut encore contenir sont entraînées ensuite par le tartre qui se dépose dans les cuves supérieures, de sorte que l'eau arrive dans le réservoir inférieur, exempte de ces matières.

Les dimensions de l'épurateur peuvent être très réduites, car l'eau s'écoule par le plus grand diamètre et la vapeur agit dans les mêmes conditions. Pour 14 et 15 chevaux, le plus grand diamètre est de 0^m,30 et la hauteur 1^m,60 ; pour 150 à 200 chevaux, le diamètre atteint 1^m,51 et la hauteur 2^m,50.

L'installation devient alors facile. Il suffit de placer l'appareil à 0^m,50 au-dessous du niveau des pompes alimentaires, afin que l'eau, dont la température est voisine de 100°, sorte du réservoir, en charge sur les pompes.

Les dépôts de tartre dans les cuves *a* peuvent se former sous une épaisseur considérable, avant d'entraver le fonctionnement de l'appareil.

Le démontage et le nettoyage se font aisément ; dans la plupart des cas, il suffit d'ailleurs de nettoyer la cuve supérieure.

En raison des dispositions adoptées et du fonctionnement de l'épurateur, le détartrage est complet. L'eau de Seine, dont le degré hydrotitométrique est de 18 à 20, titre, à la sortie de l'appareil, 5 à 6° ; une addition de carbonate de soude, en proportions convenables, permettrait de pousser encore plus loin l'épuration. On emploie ce procédé quand les eaux sont très chargées de sulfate de chaux.

Celui-ci, en présence du carbonate de soude, donne du carbonate de chaux qui se précipite comme précédemment, et du sulfate de soude, qui reste dissous dans l'eau et qui ne présente aucun inconvénient pour les générateurs.

Le détartrage au moyen de la vapeur d'échappement des machines est très économique ; il suffit de 1/5 de cette vapeur pour détartrer la quantité correspondante d'eau nécessaire à l'alimentation ; celle-ci se trouvant portée à une température voisine de 100°, la consommation de

charbon se trouve réduite dans de grandes proportions et la vaporisation du générateur est notablement augmentée.

NUMÉROS des appareils	DIAMÈTRE	DIAMÈTRE	HAUTEUR	ÉVALUATION
	des cuves détartrantes	du réservoir	de l'appareil	en chevaux-vapeur
	A	B	C	
	m ³	m ³	m ³	
1	0,300	0,500	4,600	5 à 45
2	0,450	0,700	4,800	45 à 40
3	0,650	0,950	2,450	40 à 80
4	0,900	1,250	2,400	80 à 130
5	1,450	1,810	2,550	130 à 200

MM. Mazeran et Sabrou construisent ces épurateurs d'une façon courante, suivant les indications contenues dans le tableau précédent.

Les prix s'établissent pour des appareils à quatre tronçons.

Appareils Howatson.

MM. Howatson et C^{ie}, à Neuilly-sur-Seine, présentaient dans la classe 19 trois appareils d'épuration :

- 1^o Un épurateur à préparation manuelle de réactif.
- 2^o Un épurateur à préparation automatique de réactif.
- 3^o Un détartrleur.

Le système d'épuration Howatson comporte l'emploi de la chaux et de la soude, de façon à éliminer des eaux d'alimentation le carbonate de chaux et le sulfate de chaux, et à précipiter les autres sels incrustants, oxyde de fer, silice et matières organiques.

Par l'addition d'eau de chaux, le bi-carbonate de chaux en dissolution dans l'eau se trouve transformé en carbonate insoluble et précipité. La soude, à l'état de carbonate de soude, agit sur le sulfate de chaux en formant du carbonate de chaux insoluble qui se précipite, et du sulfate de soude neutre qui peut rester dans l'eau sans crainte d'action nuisible.

Les deux épurateurs ne diffèrent que par la façon de préparer le réactif. Dans le premier, cette préparation se fait à la main, chaque jour et, dans ce cas, l'appareil n'est employé que pour obtenir un débit moyen assez faible, jusqu'au 10 m³ à l'heure.

Dans le second épurateur, qui convient pour les grandes installations,

cette préparation est obtenue automatiquement et d'une façon continue.

La marche des opérations est la même dans les deux appareils. Nous ne nous occuperons donc que du second, en signalant toutefois la disposition spéciale du premier, pour la préparation du réactif.

Epurateur Howatson. — Cet épurateur se compose essentiellement (fig. 183) ;

- 1° d'un bac, régulateur du débit des différents liquides, ;
- 2° d'un saturateur automatique d'eau de chaux ;
- 3° d'un décanteur .

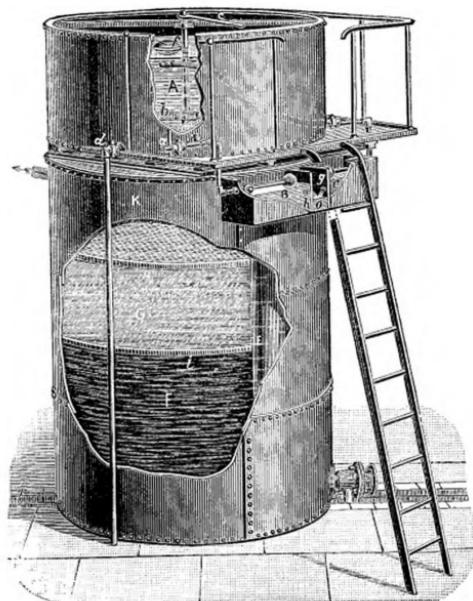


Fig. 183.

Bac régulateur de débit pour la préparation manuelle. — Ce bac régulateur a pour but de rendre l'appareil absolument pratique en supprimant une des causes principales de dérèglement : la variation du débit des différents liquides. En réglant le débit de l'eau et des réactifs au moyen de robinets, il est très difficile d'arriver exactement à obtenir

la même ouverture, à chaque manœuvre. Or, la plus légère différence dans le dosage des réactifs peut donner un résultat nul comme épuration et occasionner même, si le réactif est en excès, de graves inconvénients.

Il faut donc obtenir un moyen de réglage indépendant des robinets de façon à assurer l'écoulement des liquides dans la proportion voulue pour chacun d'eux.

Le bac régulateur Howatson, de forme rectangulaire, est divisé en trois compartiments a' a'' a^3 ; les deux premiers sont égaux, mais le troisième est de dimensions plus faibles. Le bac est posé contre le décanteur avec lequel il communique par le trou b . (Voir *pl. 40*).

L'eau à épurer arrive en c dans le compartiment a' ; le réactif est amené en c' dans le compartiment a'' ; ces deux compartiments communiquent avec le troisième, a^3 , au moyen des trous g , g' , percés dans les parois opposées, à la même hauteur, et fermés par des bouchons, dans lesquels on ménage des orifices de sections proportionnelles aux quantités d'eau et de réactif qu'il y a lieu de mélanger; le débit total de ces orifices est égal au débit à obtenir de l'épurateur.

Dans les compartiments a' et a'' , sont placées des valves à flotteurs f et f' ; si on règle les leviers de ces deux valves de manière que les niveaux des liquides soient les mêmes dans a' et dans a'' , ces niveaux se maintiendront constants et il en résultera en g et g' des débits constants.

L'eau et le réactif qui s'écoulent par les orifices g et g' , se mélangent dans le compartiment a^3 , pour se rendre ensuite dans le décanteur par le tuyau b .

L'appareil s'arrête ainsi lui-même, quand on cesse de prendre de l'eau pour se remettre en marche lorsqu'on l'emploie de nouveau. En effet, à la sortie du décanteur, l'eau se rend dans un bac de réserve qui alimente les générateurs et le décanteur est au même niveau que le bac de réserve.

Lorsqu'on ne prend plus d'eau épurée, le niveau de l'eau monte dans le bac de réserve et dans le décanteur, ainsi que dans le compartiment a^3 . Le débit des orifices g et g' diminue et, quand le niveau d'eau a^3 atteint la hauteur des niveaux dans a' et a'' , le débit s'arrête, par suite de la fermeture des valves f et f' .

Dès qu'on prend à nouveau de l'eau épurée, le niveau baisse dans le bac de réserve, dans le décanteur et dans le compartiment a^3 et l'appareil recommence à fonctionner.

Si le bac de réserve est placé en contre-bas du décanteur, au lieu d'être au même niveau, on place, à l'arrivée de l'eau épurée, une valve à flot-

teur qui ferme le tuyau quand le niveau monte trop haut et on obtient le même résultat que précédemment.

Bac régulateur pour préparation automatique de réactif. — L'eau à épurer arrive dans le bac *a* (voir premier croquis) ; celui-ci, par deux prises à la même hauteur, alimente le bac à réactif d'une part et le décanteur d'autre part. Le niveau est maintenu constant dans le bac par le flotteur *a'* et les bouchons des deux prises portent, comme dans le bac pour préparation manuelle, des orifices de sections convenables pour le mélange d'eau et de réactif.

L'appareil s'arrête automatiquement quand on ne lui demande plus d'eau épurée. A ce moment, le niveau monte dans le décanteur ; mais un flotteur, muni d'une longue tige guidée, suit les variations du niveau dans ce décanteur et vient alors fermer la valve *a'*, qui intercepte l'arrivée de l'eau. Le bac *a* se vide et l'appareil est arrêté.

Lorsqu'on prend de l'eau épurée à nouveau, il se remet en marche, car le niveau baissant dans le décanteur, le flotteur dégage le levier du robinet *a'* et l'eau peut passer.

Saturateur automatique d'eau de chaux (Pl. 40). — Le saturateur se compose d'un réservoir cylindrique vertical *a*, réuni par sa partie supérieure à un autre cylindre horizontal *a'*, de même diamètre. Un arbre *b*, portant une manivelle *b'* est placé dans l'axe du réservoir horizontal ; il reçoit sur sa longueur, des ailettes très minces *p*, qui laissent un jeu très faible entre leurs extrémités et la paroi intérieure du cylindre.

Une conduite *c*, rivée sur le récipient *a*, amène le réactif à la partie haute du décanteur *D*, auquel elle est reliée par un coude à angle droit *c'*. A l'extrémité de la manivelle *b'*, une longue bielle *b''* commande le flotteur *k*, par l'intermédiaire d'un levier *g g' g''*, mobile autour de *g'*.

L'eau arrive continuellement en *l*, dans le bac *h*, qui contient un siphon *n*, dont la sortie se fait en *m*.

La section du siphon est supérieure à celle du tuyau *l*. Lorsque l'eau arrive dans le bac et le remplit presqu'à un niveau correspondant à la branche supérieure du siphon, ce dernier s'amorce et vide le bac jusqu'au niveau *n'* de la première branche verticale ; il est alors désamorcé ; le bac *h* se remplit à nouveau et le même phénomène se reproduit.

Les variations de niveau dans le bac *h* produisent un mouvement de rotation de la bielle *b'* autour de l'axe du réservoir *a'* par l'intermédiaire du flotteur, du levier et de la bielle. Les palettes *p* peuvent donc se

mouvoir d'une façon continue dans ce réservoir, d'après un mouvement alternatif réglé par le siphon *n m.*

La chaux, en pierre, est placée en *r* sur une grille métallique maintenue à la partie haute du saturateur. L'eau arrive en *f* et se répand sur la chaux dans les conditions de débit correspondant à la quantité d'eau de chaux qui doit être employée pour l'épuration. Ce réglage est obtenu par un bouchon fermant le tuyau *f* et percé d'un orifice déterminé de façon à assurer, sous pression constante, le débit nécessaire.

La chaux éteinte passe à travers la grille métallique *r* et, entraînée par l'eau, se rend en *a'* où le mouvement du malaxeur facilite sa dissolution ; le mélange remonte par le conduit *c* et se déverse en *c'* dans le décanteur *d*. En plaçant sur la grille la quantité de chaux nécessaire à huit jours de marche, par exemple, on est certain d'obtenir toujours le même degré de saturation, grâce au mouvement automatique du malaxeur.

La vidange des boues se fait par le robinet *x* une fois par semaine, et l'appareil ne nécessite aucun autre entretien. Il suffit, lorsque le dosage est connu, de remplacer régulièrement la quantité de chaux en pierre, sur la grille du saturateur.

Décanteur. — Le décanteur Howatson est un réservoir à section cylindrique ou rectangulaire, suivant l'emplacement dont on dispose, dont les dimensions sont déterminées par la composition et la quantité de l'eau à épuiser.

Il est divisé en deux compartiments inégaux par une cloison verticale *b*, qui descend jusqu'à 33 cm environ du fond. Le mélange d'eau et de réactif arrive en *A* ; il descend au fond du réservoir et se rend dans le grand compartiment qu'il parcourt de bas en haut jusqu'au filtre *f* ; il passe à travers ce filtre et l'eau épurée sort en *S*.

La réaction chimique, commencée en *g*, s'achève en *g'*, où les dépôts se produisent. A cet endroit, l'eau est trouble, les points blancs floconneux font leur apparition ; puis, ils augmentent de volume et viennent se déposer sur le double fond *m*.

Les dépôts, en petit nombre, qui n'ont pas été effectués sur ce fond, montent jusqu'à la partie moyenne du grand compartiment pour prendre corps et l'opération est complètement terminée à l'approche du filtre. Celui-ci, composé de fibre de bois, retient les matières étrangères, graisses, huiles, etc., quand on épure des eaux de condensation ou les

poussières qui ont été entraînées par l'eau dans son mouvement à travers le décanteur.

L'appareil comprend donc un réservoir en tôle avec ses cornières inférieures et supérieures, une cloison verticale, une cornière *p* supportant la grille *p'*, qui reçoit la fibre de bois maintenue par une autre grille *p''*. Son nettoyage s'opère d'une façon très simple en ouvrant chaque jour, en grand, le robinet *r*, pendant quelques secondes.

Le double fond rend la vidange complète ; il est percé d'un certain nombre de trous de 12 à 15 mm de diamètre, régulièrement espacés. Le robinet *r* a une section égale à la somme de ces trous qui débiteront alors tous à la fois, dès qu'on manœuvrera le robinet. La pression de l'eau dans le réservoir fait passer les boues dans chacun des trous, le courant s'établit par la sortie *r* et l'espace compris entre les deux fonds se trouve complètement dégagé de dépôts.

Fonctionnement de l'épurateur. — Il est facile, après l'énumération précédente, de se rendre compte du fonctionnement de l'épurateur.

L'eau à épurer arrive dans le bac *a* (premier croquis), qui la distribue aux différents appareils constituant l'ensemble : saturateur *b*, décanteur *d* et bac à siphon commandant le malaxeur du saturateur.

L'eau destinée à former l'eau de chaux est amenée au saturateur par le tube *f*; son débit est réglé en *f'*. L'eau rejetée par le siphon passe dans le décanteur par le tube *g* pour être mélangée avec l'eau de chaux qui sort en *h*. Le complément d'eau à épurer est fourni par le tube *k*, avec réglage en *k'*. Le mélange descend au fond du décanteur et l'eau épurée sort en *l*. Les vannes *m* et *n* servent à la vidange du décanteur et du saturateur.

La solution de carbonate de soude, lorsqu'elle est nécessaire pour l'épuration, se prépare dans le bac *p*. Elle vient se déverser en *p'* dans le décanteur où elle se mélange avec l'eau de chaux.

La distribution de la soude peut être rendue automatique au moyen d'un flotteur qui vient fermer le clapet *q* lorsque le niveau monte dans le décanteur.

Détartreur Howatson. — Le détartreur par la vapeur, système Howatson, s'emploie pour l'épuration des eaux d'alimentation qui contiennent du bicarbonate de chaux, à l'exclusion du sulfate de chaux. On provoque, dans cet appareil, le dépôt de sels qui, normalement, restent dans les chaudières sous l'action de la haute température, et on obtient de l'eau d'alimentation à une température de 100°, ce qui pro-

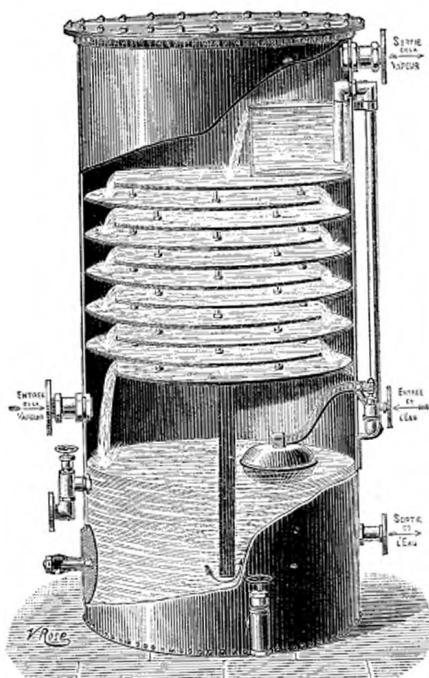


Fig. 484.

cure une économie considérable de combustible.

Le détartreur se compose d'un réservoir cylindrique fermé, dans lequel se trouve disposé un ensemble de cloisons en tôles et de pattes. Les cloisons ont la forme d'un cercle auquel il manque un segment et ce segment absent se trouve placé alternativement à droite et à gauche dans la succession des cloisons (fig. 184).

L'eau à détartrer arrive dans un petit bac, disposé sur les cloisons, à la partie haute du réservoir. A la partie inférieure, une cloison verticale, située dans un plan diamétral, et aboutissant à 20 cm environ du fond, divise le réservoir en deux parties.

L'eau monte par le tube extérieur jusqu'au bac et se déverse par trop plein sur les cloisons superposées, où elle se répand en nappes très minces, de façon à présenter la plus grande surface possible de contact à la vapeur.

De chute en chute, l'eau tombe enfin dans le premier compartiment inférieur ; elle passe dans le second où elle est aspirée par la pompe alimentaire branchée à la tubulure de sortie.

L'eau et la vapeur cheminent donc en sens inverse et restent en contact pendant un temps assez long. Comme l'eau est divisée en nappes minces, elle se trouve presque immédiatement portée à l'ébullition. Les dépôts se forment dans le bac, assez abondants, puis sur les cloisons étagées en diminuant de volume au fur et à mesure que l'on descend. La dernière décantation se produit dans la partie inférieure du réservoir où se déposent les dernières traces de matières précipitées ; un robinet permet l'évacuation des matières grasses qui se posent à la surface du liquide.

Le flotteur commande une valve placée sur la conduite d'arrivée

d'eau, de façon à fermer automatiquement cette conduite lorsque la pompe alimentaire ne fonctionne plus.

Les dépôts du bac et des cloisons ne sont pas très adhérents ; ils s'enlèvent facilement par un simple battage. Dans les compartiments inférieurs, on ne trouve qu'une boue de volume insignifiant, que l'on évacue par des vidanges au moyen d'un robinet, et le trou à main, fermé en temps ordinaire par un tampon, permet de nettoyer le fond au moment voulu.

Appareils Desrumaux

La Société « l'Epuration des Eaux », dont le siège social est à Paris, présentait à l'Exposition une série d'épurateurs, système Desrumaux, savoir :

1^o A l'usine Suffren et à l'usine La Bourdonnais une batterie d'appareils alimentant les chaudières en fonctionnement pour le service de la force motrice ;

2^o Au pied de la cheminée monumentale de l'usine La Bourdonnais, un appareil de démonstration du type C, n° 7 bis débitant 25 m³ en 12 heures ;

2^o Au pavillon des pompes Worthington, usine de la Cunette, un appareil du type D, n° 9, débitant 60 m³ en 12 heures ;

4^o A Vincennes, un épurateur automatique, série E, n° 12, correspondant à une puissance de 100 m³ en 12 heures, et un appareil de plus petit débit alimentant les locomotives de la Compagnie française des trains routiers.

Tous ces appareils dérivaient d'un type unique que nous allons examiner.

Épurateur automatique, système Desrumaux

Pour bien comprendre le fonctionnement de cet épurateur, il est nécessaire d'exposer quelques considérations générales.

L'épuration des eaux, telle que la conçoit M. Desrumaux, a pour objet de débarrasser l'eau des impuretés qu'elle contient en suspension, et surtout des sels nuisibles qu'elle renferme en dissolution.

Ce traitement nécessite deux opérations distinctes :

1^o La précipitation des sels dissous dans l'eau : carbonate de chaux, sulfate de chaux, chlorure de calcium, carbonate de magnésie, sulfate de magnésie, sels de fer, d'alumine, silicates, etc. ;

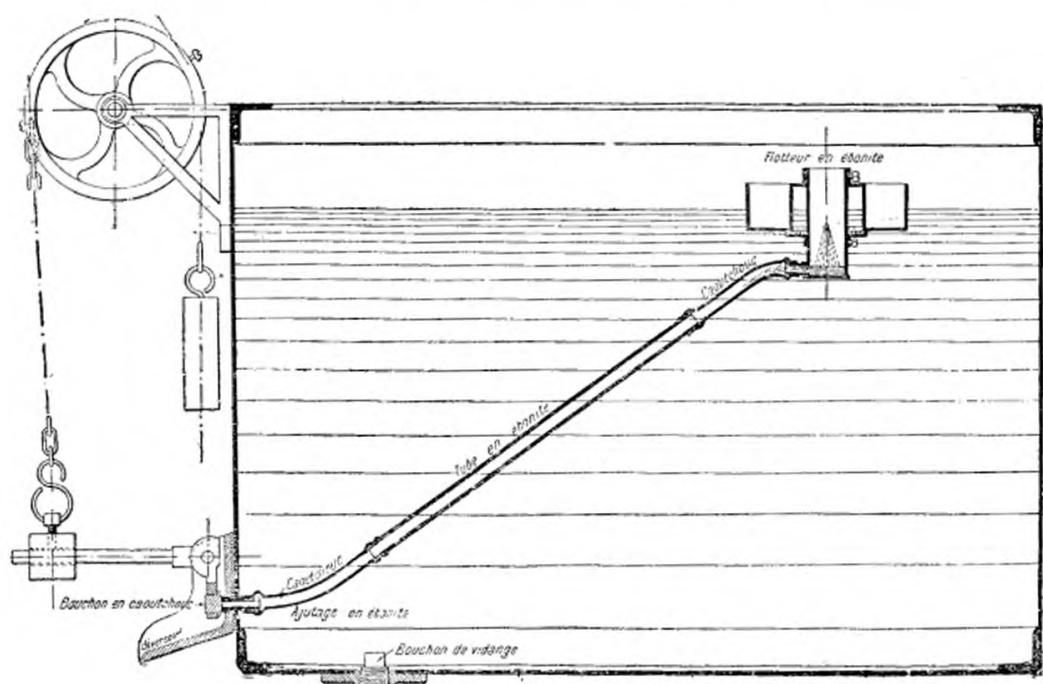


Fig. 485. — Réservoir à réactifs.

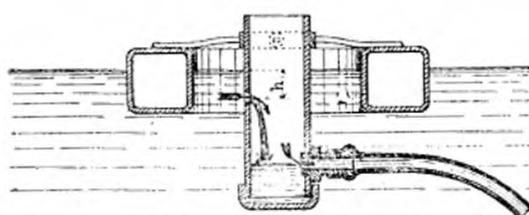


Fig. 486. — Flotteur-régulateur (détails).

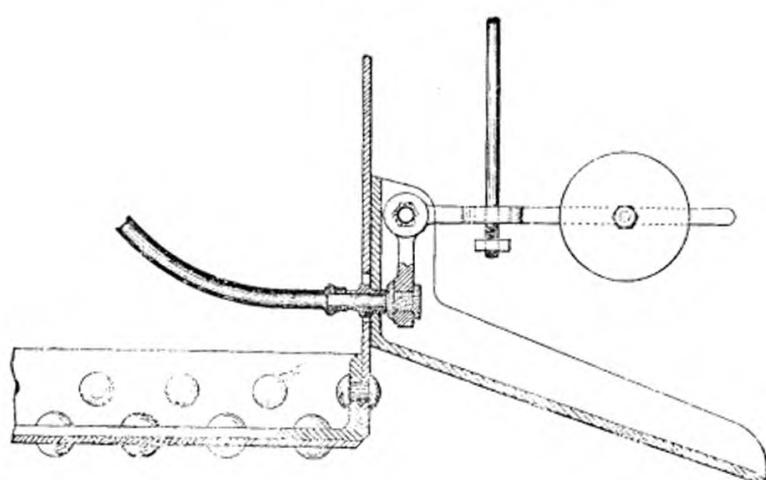


Fig. 487. — Flotteur-régulateur (Détails).

2^o La séparation et l'élimination des précipités formés ainsi que des matières en suspension : fer, sable, limon, débris organiques, etc.

Les réactifs, généralement employés, sont la chaux, le carbonate de soude, la soude caustique et, accidentellement, des sels de fer (sulfate et perchlorure) ou d'alumine.

Les sels de soude, de fer ou d'alumine étant solubles dans l'eau, il est assez facile de les distribuer proportionnellement au volume d'eau à corriger.

Il suffit, pour cela, de les dissoudre dans des réservoirs conditionnés pour se vider complètement dans l'intervalle de temps qui sépare deux chargements.

La seule précaution à prendre consiste à régler le débit, de manière à obtenir des écoulements constamment réguliers, quel que soit le niveau des solutions dans les réservoirs.

Dans l'épurateur Desrumaux, ce résultat est obtenu d'une façon très simple en prenant les solutions de réactifs, au moyen d'un *Flotteur-régulateur* en ébonite, dans lequel elles pénètrent sous charge inviolable 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 (fig. 185 à 187).

Le tube central du flotteur régulateur peut être élevé ou abaissé à volonté, selon qu'on veut réduire ou augmenter le débit des réservoirs à réactifs ; on le fixe, à la hauteur voulue, au moyen de vis de pression.

Ces flotteurs-régulateurs étant construits entièrement en ébonite sont absolument inattaquables par les réactifs acides ou alcalins.

Dosage de la chaux. — Le dosage de la chaux présente plus de difficulté. Ce produit étant toujours mélangé de pierres, d'incuits et, de plus, chargé d'une quantité extrêmement variable d'humidité absorbée, on ne peut se baser sur l'évaluation de son poids pour le doser.

Pour arriver à ajouter à l'eau le poids de chaux strictement nécessaire à sa correction, on met à profit la propriété qu'elle possède de ne pouvoir s'y dissoudre au delà d'une proportion déterminée. L'eau, en effet, mise en présence de la chaux, même en grand excès, n'en dissout que 1^o, 2^o par litre. Pour obtenir un poids de chaux voulu, il suffit donc de prendre le volume correspondant d'eau saturée de chaux.

On a longtemps préparé l'eau de chaux en brassant, à la main, du

lait de chaux versé dans de grandes cuves préalablement remplies d'eau. Ce service, pour ne pas être interrompu, nécessitait au moins deux réservoirs servant alternativement ; après avoir brassé l'une des cuves, on la laissait décanter, pour ne l'employer qu'une fois le mélange bien

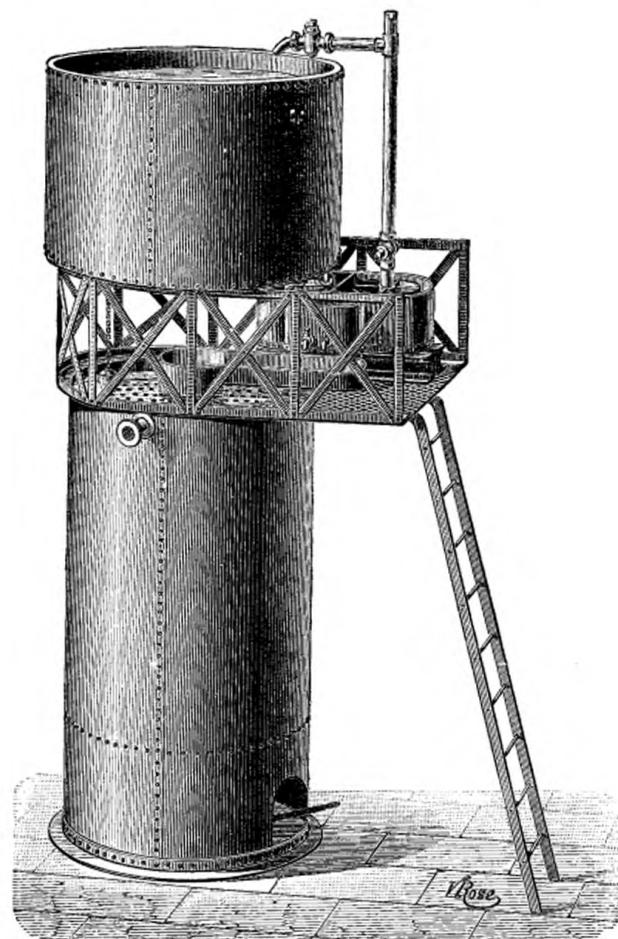


Fig. 488.

clarifié ; aussitôt épuisée, on la remplaçait par l'autre, remplie entre temps, travail obsédant se compliquant de pesées de soude et de chaux à refaire pour chaque cuve à préparer.

Outre cette main-d'œuvre, la préparation manuelle du réactif exigeait encore de vastes emplacements, en raison du volume énorme d'eau de chaux généralement nécessaire ; de plus, elle avait le grave inconvénient d'être complètement abandonnée à la merci d'un ouvrier, plus ou moins

vigilant et scrupuleux, toutes conditions qui compromettaient fortement les résultats de l'épuration.

Il faut cependant reconnaître que les appareils à préparation manuelle de réactifs sont assez pratiques pour de petits débits, car la quantité de réactif à prévoir pour une journée de marche peut aisément et rapidement se préparer en une fois, dans un bac unique.

Le type d'épurateur (fig. 188) est construit pour des débits variant entre 100 et 750 lit. à l'heure. Le réservoir supérieur est le bac à réactif, dont les dimensions sont déterminées pour contenir la quantité de réactif qu'exige la correction de toute l'eau consommée journellement.

Le récipient cylindrique plus long et plus étroit, posé sur le sol, est le décanteur.

Entre le bac à réactif et le décanteur sont placés les régulateurs d'eau et de réactif.

L'eau épurée sort, sans perte de charge sensible, par la tubulure latérale.

Ce type d'épurateur s'arrête et se met en marche automatiquement.

Les inconvénients de la préparation manuelle de réactifs, appliquée au traitement de volumes d'eau plus importants, conduisirent à employer les saturateurs.

Saturateur Desrumaux. — Dans cet appareil, la saturation de l'eau de chaux est obtenue en malaxant automatiquement la chaux avec l'eau à saturer, au moyen d'une roue hydraulique actionnée par l'eau à épurer elle-même.

Ce procédé de saturation par malaxage est le plus sûr et le plus rationnel pour obtenir de l'eau de chaux régulièrement saturée, puisque, à rendement égal, il exige trois fois moins de chaux que les procédés similaires, en raison de l'extrême degré d'épuisement qu'il permet d'atteindre. De plus, son automatisme le met à l'abri des aléas ordinaires de main-d'œuvre et de surveillance.

Le saturateur Desrumaux, de forme cylindro-conique, (fig. 189) 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.

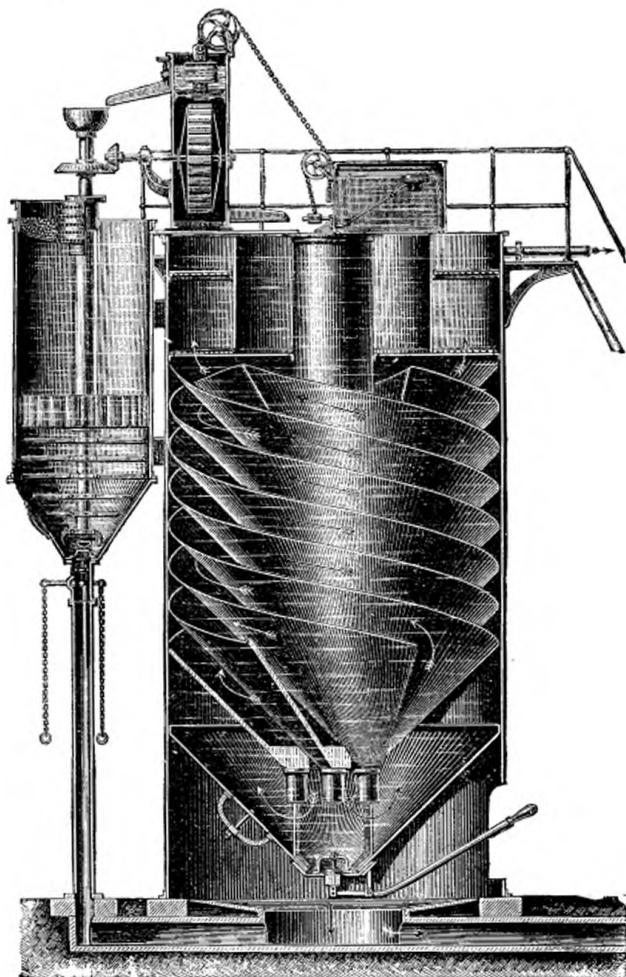


Fig. 489.

La chaux en pierre est versée, une fois par jour, en quantité déterminée, dans l'extincteur du saturateur où, baignée par l'eau, elle s'éteint d'elle-même. Quand le moment est arrivé de 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 large conduit, concentrique au tube central, et s'arrêtant un peu au-dessus des palettes. La bouillie de chaux remplit ainsi la caisse de malaxage.

Quant à l'eau servant à la préparation du réactif, elle se déverse dans le godet supérieur du tube central, suit ce conduit jusqu'au fond du saturateur, et sort, par des ouvertures ménagées dans le pivot, pour remonter ensuite en se mélangeant intérieurement à la chaux contenue dans la caisse du malaxage. Par l'effet du brassage mécanique des palettes, l'eau se sature de chaux et poursuit son mouvement ascensionnel en se décantant rapidement. L'excès de chaux, momentanément entraîné, retourne dans la caisse de malaxage où il est repris jusqu'à épuisement complet.

Au-dessus du malaxeur, des cloisons fixes, rayonnantes, facilitent la décantation en arrêtant le remous dû aux révolutions des palettes.

Après la saturation et la clarification, l'eau de chaux sort par le haut du saturateur et va se mélanger à l'eau à épurer tombant du moteur hydraulique et aux autres solutions contenues dans le réservoir à réactifs posé directement sur le décanteur.

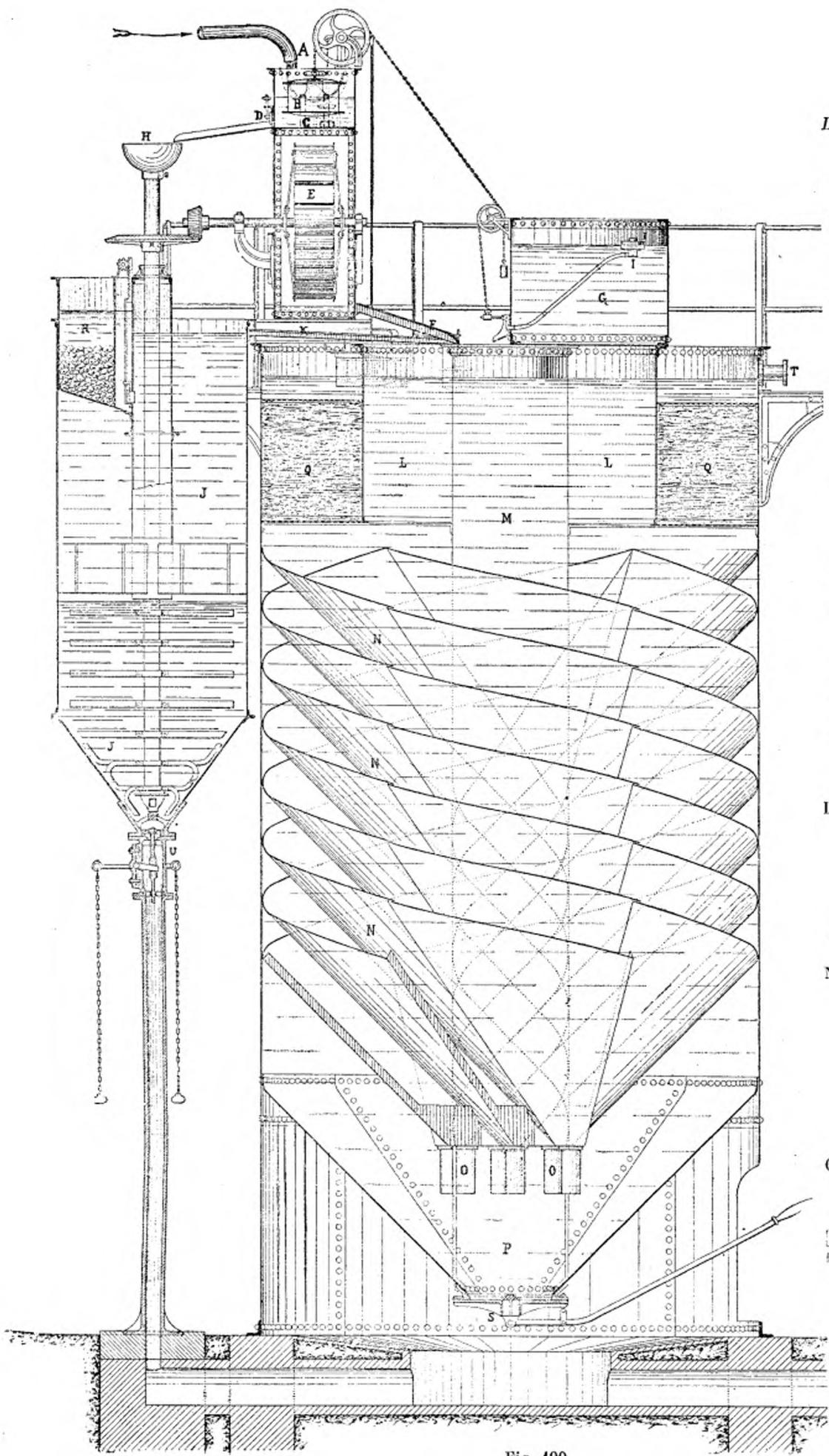
L'addition des divers réactifs à l'eau épurée donne immédiatement naissance à des réactions qui la troublent et lui donnent un aspect laiteux : c'est la précipitation des sels dissous qui se produit.

Pour obtenir de l'eau épurée, il ne reste plus qu'à séparer les précipités formés et, en même temps, toutes les autres matières étrangères en suspension, en pratiquant la décantation.

Décantation. — Le procédé de décantation le plus simple consiste à faire traverser, de bas en haut, par l'eau clarifiée, un récipient de forme quelconque, dont la section est calculée pour que la poussée due à la vitesse d'ascension, agissant sur les particules solides en suspension, soit inférieure à l'action de la pesanteur qui les sollicite en sens inverse.

Dans ces conditions, il est évident que les précipités formés tendront constamment à se déposer, d'autant plus rapidement que leur décantation sera favorisée par l'ascension de nouvelles couches à clarifier, dont les précipités viendront s'unir aux précédents, les grossir et en accélérer la chute.

Décanteur Desrumaux (fig. 190). — Cet appareil 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 chaque extrémité, autour duquel s'enroulent plusieurs rangées superposées de lames métalliques, tenant du cône



Légende de la fig. 190

- A, Arrivée de l'eau à épurer.
- B, Bac de distribution.
- C, Vanne réglant le débit de l'eau à épurer.
- D, Vanne réglant le débit de l'eau à transformer en eau de chaux.
- E, Roue à augelets, mise en mouvement par l'eau à épurer et actionnant l'arbre de malaxage du Saturateur.
- F, Goulotte déversant, dans le Décanter, l'eau tombant du moteur hydraulique.
- G, Réservoir à réactifs divers.
- H, Godet servant à l'introduction de l'eau à saturer de chaux.
- I, Flotteur Régulateur en ébonite.
- J, Saturateur.
- K, Goulotte déversant l'eau de chaux saturée dans le Décanter.
- LL, Espace libre annulaire servant au nettoyage des surfaces de décantation et à leur passage, en cas de démontage.
- M, Colonne centrale de réaction.
- NN, Lames hélico-conoidales formant surfaces de décantation continues, pouvant être nettoyées instantanément sans démontage, en faisant arriver un courant d'eau par l'espace annulaire LL.
- OO, Collecteurs à boues.
- P, Réservoir à boues.
- Q, Filtr.
- R, Extincteur automatique de chaux.
- S, Soupape de vidange des boues.
- T, Sortie de l'eau épurée.
- U, Clapet de purge du Saturateur.

Fig. 190.

par leur inclinaison et de l'hélice par leur développement ; ou les appelle, pour cette raison, surfaces hélico-conoïdales.

Le but de l'appareil consiste :

1^o A diviser la masse de l'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 ;

2^o A donner aux surfaces de décantation, une forme qui, tout en favorisant le glissement de ces particules et en les soustrayant à l'entraînement des veines liquides en mouvement, assure : à l'eau la direction la plus favorable à sa clarification ; aux dépôts, l'acheminement le plus direct pour leur élimination.

L'eau et les réactifs épurants se déversent dans le cylindre intérieur, formant colonne de réaction, et descendant 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 spires inférieures qui se clarifient.

D'autre part, par suite du mouvement ascensionnel dont elle est animée, 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 entraînante des courants ascensionnels.

Grâce à la forme conoïde des surfaces de décantation qui les fait converger vers les parties centrales, les particules solides, aussitôt déposées, se rassemblent aux endroits où les pentes sont le plus fortement accusées, ce qui facilite leur acheminement vers le fond de l'appareil.

Pour que les dépôts, au bout de leur trajet, ne puissent pas être repris par l'eau affluante, les lames hélicoïdales 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

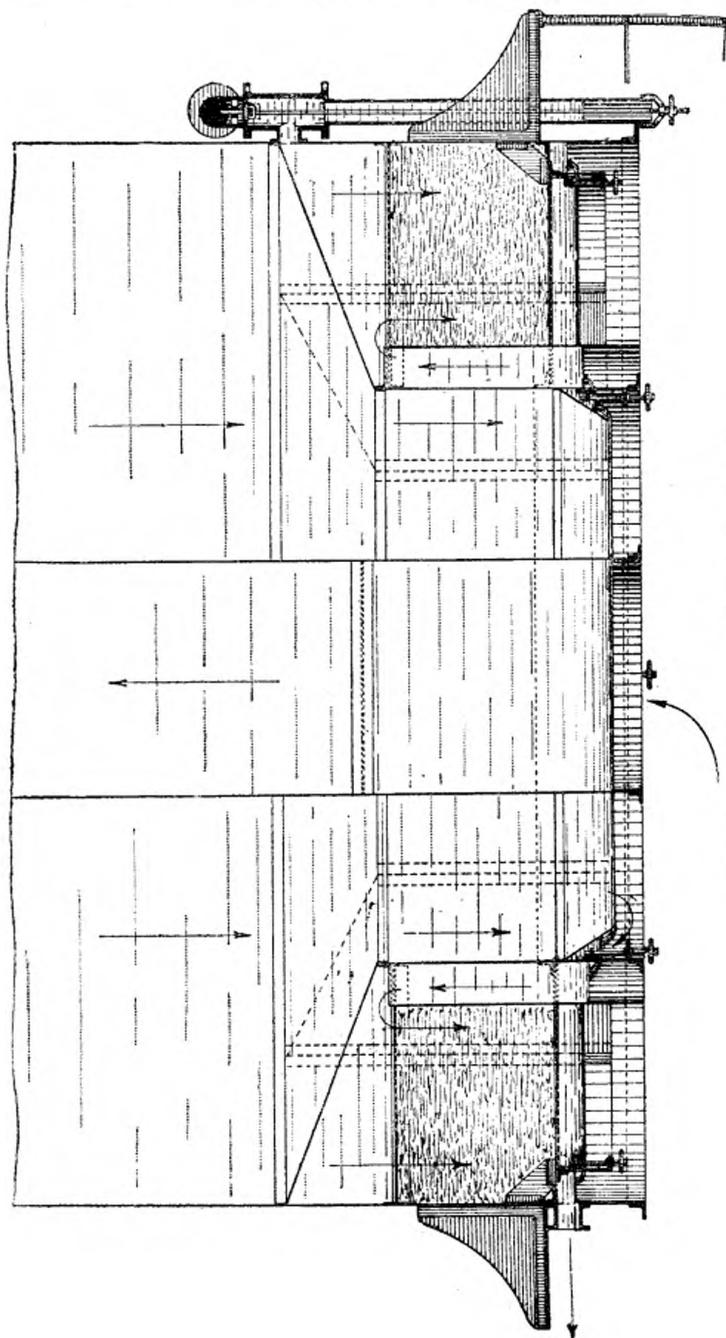


Fig. 191. — Filtre à compartiments indépendants.

de vidange jusqu'à l'apparition de l'eau claire.

Dans la pratique, pour simplifier la construction, les surfaces de décantation sont formées de segments plans se succédant, de manière à tracer sur la paroi du décanteur une ligne brisée, régulière, en spirale. Les segments d'hélices se joignent par recouvrement et sont simplement emboités, par leur pointe, dans des supports en fonte boulonnés sur le cylindre central, agencement qui facilite, en cas de besoin, le démontage rapide des surfaces de décantation.

Si un nettoyage des surfaces de décantation devient nécessaire, il peut s'effectuer instantanément, sans aucun remontage, grâce à la continuité des lames hélicoïdales. Pour cela, 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.

Quant à l'eau, dépouillée des sels nuisibles et des matières étrangères qui la souillaient, elle traverse en dernier lieu un filtre placé à la partie supérieure du décanteur, et sort épurée et claire par le haut de l'appareil.

Ce filtre est constitué d'un simple lit de fibre de bois, légèrement comprimée entre deux rangées de tôles perforées (fig. 191).

Dans les décanteurs ne dépassant pas un certain diamètre, le nettoyage et le remplacement de la matière filtrante peuvent se faire rapidement, en raison du volume relativement faible du filtre. Mais il n'en est plus de même dans les appareils de grandes dimensions.

Le filtre reçoit alors la disposition figurée sur le dessin précédent. Il est divisé en un certain nombre de compartiments indépendants, capables d'être isolés en pleine marche, et possédant chacun une vidange distincte. Dans ces conditions, il est possible de vider complètement, voir même de laver à l'eau courante, à tour de rôle, tous les compartiments du filtre, sans que le fonctionnement de l'appareil ait jamais besoin d'être interrompu, ce qui constitue un avantage très important.

Fonctionnement automatique de l'épurateur. — Il reste maintenant à examiner les moyens employés pour assurer l'automatisme du fonctionnement et la proportionnalité des débits d'eau et de réactifs épurants, quelles que soient les variations de la consommation de l'eau épurée ou de l'alimentation de l'eau à épurer.

L'ensemble des organes de distribution est représenté sur la figure 193, qui suppose le cas d'un épurateur alimenté par un réservoir supérieur ou par une conduite amenant l'eau sous pression.

L'eau à épurer arrive, par la conduite A, dans le compartiment B du

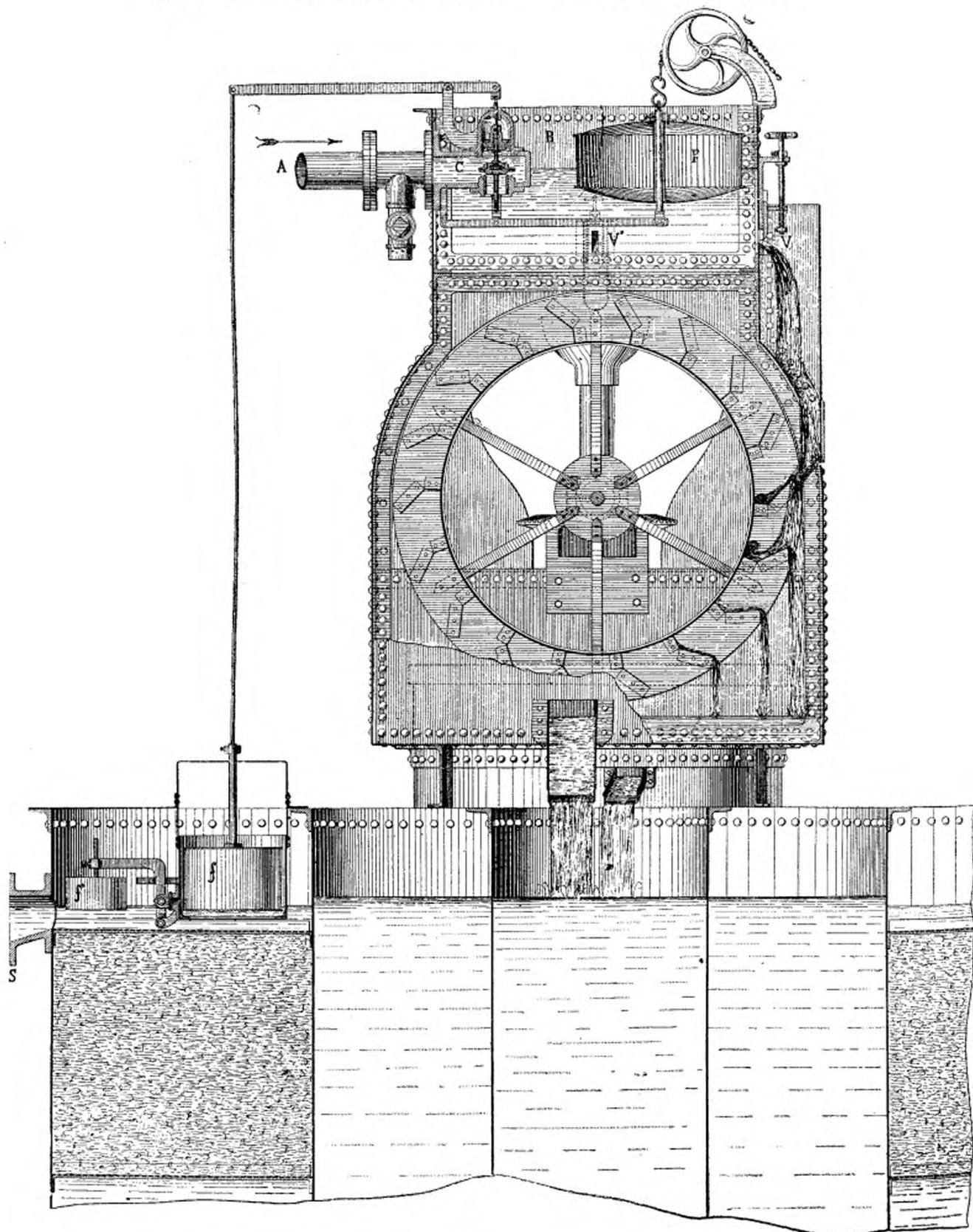


Fig. 193.

régulateur d'eau, servant aussi de bac de distribution. Une soupape équilibrée C en règle l'admission.

Cette soupape (fig. 192) se compose d'une boîte en fonte, dans l'intérieur

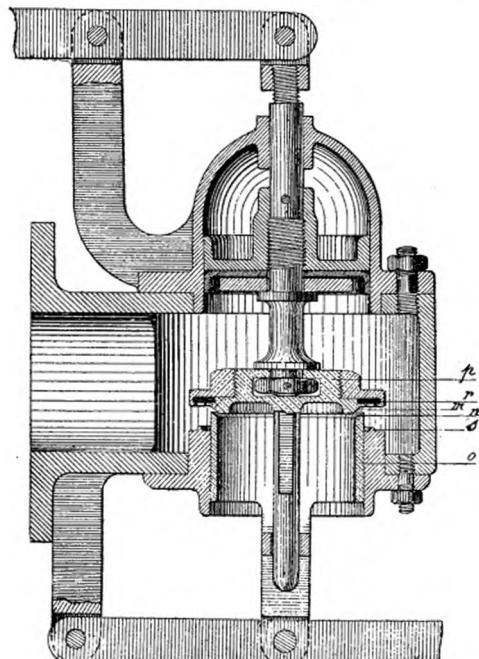


Fig. 192. — Soupape équilibrée.

de laquelle se meut verticalement un plateau en bronze p , portant, solidement encastrée dans sa face inférieure, une couronne en caoutchouc r , servant de siège à la nervure circulaire S d'un manchon fixe boulonné sur le fond de la boîte.

Un piston, garni d'un cuir embouti, glisse dans le dôme de la soupape et équilibre la pression reçue par le plateau p , auquel il sert de guide.

La tige d'axe, sur laquelle est monté le plateau p , est reliée, par un levier oscillant, à une longue tringle verticale, à l'extrémité de laquelle est suspendu un flotteur f , coulissant dans un bac en tôle posé directement sur le filtre du décanteur.

Dans ces conditions, si l'on ferme la prise d'eau épurée (fig. 193), l'alimentation continuant, l'eau s'élève dans le décanteur, déborde dans le bac contenant le flotteur f et celui-ci, en montant, force le plateau p à descendre

jusqu'à ce que la rondelle élastique *r* s'applique sur la nervure circulaire *S*, ce qui interrompt aussitôt l'admission de l'eau dans le compartiment de distribution et arrête l'épurateur.

Dès que le niveau est redevenu normal dans le décanteur, parce qu'on s'est alimenté à nouveau en eau épurée, le flotteur *f* s'abaisse, la soupape s'ouvre et l'appareil se remet en marche automatiquement.

Concentriquement au siège en caoutchouc *r*, une surface conique *m* correspond, d'autre part, à un siège mobile *n* constitué par le bord évasé d'un manchon mobile *o*, glissant à frottement doux dans le manchon fixe tenant lieu de tubulure de sortie de la soupape. Le manchon mobile *o* est articulé sur un levier commandé par le flotteur *F* auquel se rattache une chaînette, dont l'extrémité libre porte un contrepoids qui ouvre ou ferme, selon la position haute ou basse du flotteur, l'écoulement du réservoir à réactifs.

Si la pression de l'eau vient à augmenter, le niveau, dans le compartiment de distribution, tendra à monter en entraînant le flotteur *F* qui, à son tour, soulèvera le manchon *n* dont la tranche biseautée, en se rapprochant du plateau *p*, réduira le passage offert à l'eau. Inversement, si la pression diminue, le manchon mobile s'écartera du siège conique du plateau et ouvrira davantage le passage au liquide, de telle sorte que l'augmentation ou la diminution de pression seront constamment contrebalancées par la réduction ou l'agrandissement de la section d'écoulement. Par conséquent, le niveau de l'eau se maintiendra invariable dans le compartiment de distribution.

Il en résulte que les variations possibles de pression n'exerceront aucune influence ni sur le débit des vannes *V* et *V'* distribuant respectivement l'eau à épurer dans la roue à augets et l'eau à saturer dans le saturateur, ni sur le débit des diverses solutions de réactifs dont l'écoulement ou l'arrêt sont subordonnés à la position du flotteur *F*.

Examinons maintenant le cas où l'on ne prend pas à l'épurateur la quantité d'eau correspondant au réglage du bac de distribution, cas le plus général, car il existe peu d'usines où il n'y ait ni moments d'arrêt, ni période de ralentissement dans le travail et où surtout la consommation d'eau reste, à tout instant, strictement régulière.

La prise en eau épurée variant alors avec les besoins du moment, le niveau s'élève dans le décanteur ou s'abaisse, en suivant toutes les fluctuations de la consommation, ce qui peut faire craindre que les mouvements correspondants du flotteur d'arrêt automatique *f*, se communiquant à la soupape d'admission, ne modifient constamment la section

d'écoulement de l'arrivée d'eau, tandis que le débit des solutions de réactifs resterait constant, ce qui détruirait inévitablement la proportionnalité cherchée par le réglage.

C'est dans le but de parer à ce grave inconvénient que le flotteur d'arrêt automatique *f* se trouve logé dans le petit bac intermédiaire destiné à l'isoler de l'eau environnante, qui ne peut le remplir que lorsqu'elle monte dans le décanteur bien au-dessus du niveau correspondant au débit normal en eau épurée.

Ce débit vient-il, dès lors, à être réduit, le niveau s'élève lentement dans le décanteur, mais sans influencer le flotteur *f* et, par suite, sans modifier l'ouverture de la soupape d'admission qui continue à couler à pleine section.

Dès que le niveau finit par atteindre le bord supérieur du bac, celui-ci se remplit brusquement, vu sa faible capacité, et le flotteur *f* s'élève rapidement en fermant net la soupape. Simultanément, l'écoulement de l'eau et celui des réactifs s'arrêtent.

L'alimentation de l'appareil étant interrompue et la prise en eau épurée se poursuivant, le niveau baisse progressivement dans le décanteur, mais demeure fixe dans le bac intermédiaire : le flotteur *f* garde donc sa position haute et l'appareil reste arrêté jusqu'à ce que le niveau soit assez descendu pour faire baisser le flotteur auxiliaire *f'* qui, dès qu'il entre en jeu, découvre l'orifice ménagé sur la paroi du bac.

Celui-ci se vide aussitôt et le flotteur *f* reprenant sa position normale, ouvre entièrement la soupape d'arrivée d'eau et remet l'épurateur en marche, à son plein débit.

Enfin, quand l'appareil est alimenté directement par une pompe, un pulsomètre, etc., on obtient un niveau constant dans le bac de distribution en réglant simplement les vannes V et V', de façon qu'au minimum de l'élévateur, qui doit correspondre au débit normal de l'appareil, ce niveau atteigne sensiblement le bord d'un déversoir en tôle communiquant avec un tuyau de trop plein : si l'eau aborde au delà du débit normal de l'épurateur, l'excédent s'évacue par ce trop plein et rien ne vient contrarier le réglage.

Pour assurer l'arrêt et la mise en marche automatiques avec cette disposition, le bac de distribution est partagé en deux compartiments communiquant entre eux au moyen d'une tubulure horizontale s'ouvrant par un siège, dont le clapet est relié au flotteur d'arrêt automatique *f*.

Si l'alimentation en eau épurée cesse brusquement ou se ralentit gra-

duellement, de telle sorte que le niveau, dans le décanteur, finit par dépasser le bord du bac intermédiaire, le flotteur *f*, entraîné vivement dans un mouvement ascensionnel, ferme subitement la communication entre les deux compartiments et l'appareil s'arrête, pendant que toute l'eau du conduit de refoulement retourne vers l'aspiration par le tuyau de trop plein.

Dès que le flotteur *f* redescend, le clapet s'ouvre entièrement et remet aussitôt l'appareil en marche, à son plein débit.

Ainsi, quel que soit le mode d'alimentation, quelles que soient les variations de la pression de l'eau affluante ou de la consommation en eau épurée, la proportionnalité voulue entre l'écoulement de l'eau et celui des réactifs reste constante, ce qui assure une épuration absolument régulière.

Le robinet de service R, disposé pour recevoir un tuyau flexible en tôle, en caoutchouc, etc., sert à éteindre la chaux à la mise en marche, à remplir le saturateur au moment du chargement, à préparer les solutions de réactifs solubles, à laver les matières filtrantes et, en cas de besoin, les surfaces de décantation.

En résumé, l'épurateur automatique, système Desrumaux, a été consciencieusement et minutieusement étudié, jusque dans ses moindres détails, pour obtenir un appareil très pratique et d'un fonctionnement sûr, n'offrant aucune prise à l'imprévu. Les nombreuses applications dont il a été l'objet dans l'industrie, depuis quelques années, ont permis d'en apprécier toute la valeur.

CHAPITRE IX

COMPTEURS D'EAU D'ALIMENTATION ET APPAREILS DIVERS

Compteur, système Schmid

MM. d'Espine, Achard et Cie, constructeurs à Paris, avaient installé
Coupe longitudinale suivant CD.

Coupe transversale EF.

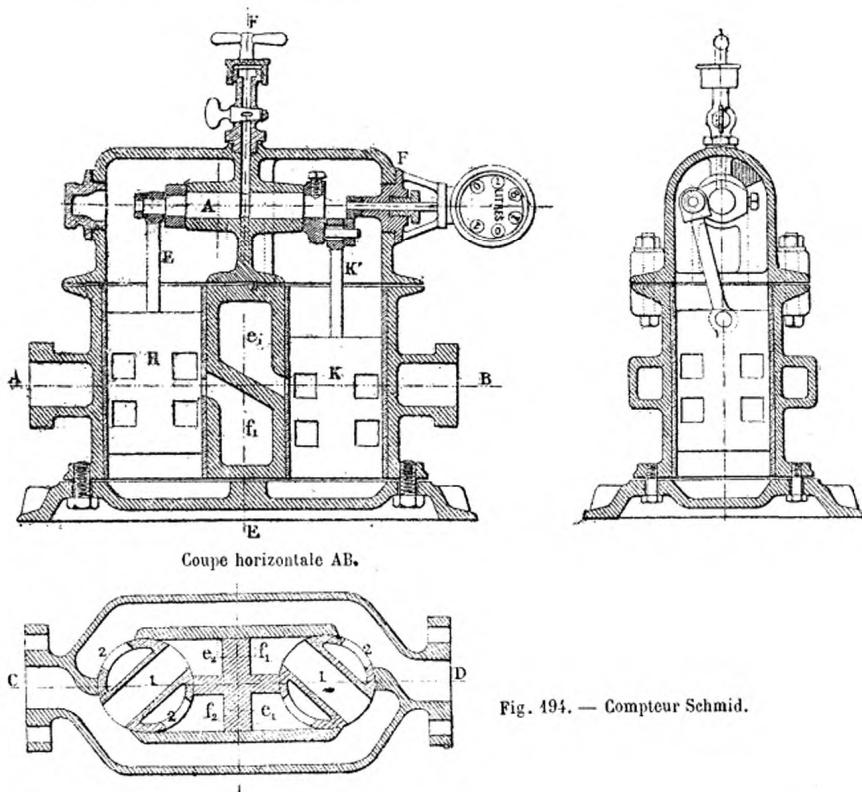


Fig. 494. — Compteur Schmid.

aux usines Suffren et La Bourdonnais, vingt-trois compteurs Schmid,

pour mesurer l'eau d'alimentation aux chaudières de Naeyer, Mathot, Montupet, Fives-Lille, Biétrix, Babcock, etc.

L'appareil Schmid est un compteur à pistons. L'eau qui le traverse est directement mesurée par le volume engendré par les pistons en mouvement.

Ce compteur (fig. 194) comprend deux pistons verticaux H et K, sans aucune garniture, et parfaitement ajustés dans leurs cylindres ; ils sont reliés par deux bielles E et K', à un arbre horizontal A, dont les manivelles sont calées à 90°.

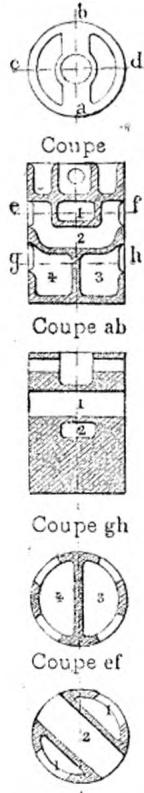


Fig. 195.
Détails des pistons

Cet arbre transmet, à l'aide d'une fourchette F, son mouvement de rotation à un petit compteur de tours C, gradué en litres.

La distribution de l'eau aux deux pistons H et K a lieu par les pistons eux-mêmes qui sont munis chacun de quatre canaux de distribution 1, 2, 3, 4 (fig. 195). Ces canaux sont divisés deux par deux, l'un au-dessus de l'autre, et les canaux supérieurs 1 et 2 se croisent perpendiculairement, tandis que les canaux inférieurs 3 et 4 sont parallèles. Ces quatre canaux forment un véritable tiroir sur les parois de leur cylindre, chaque piston servant de tiroir distributeur à l'autre piston.

L'écartement entre les deux pistons comprend quatre conduites e_1, e_2, f_1, f_2 , mettant en communication la partie centrale du cylindre avec la partie supérieure ou inférieure des pistons.

Tout le mécanisme se trouve sous l'eau, disposition pratique préférable à l'emploi des stuffing-box.

La verticalité des pistons est, en principe, un excellent dispositif ; leur longueur est très grande, relativement au diamètre et à la course, de sorte qu'ils se guident eux-mêmes.

L'appareil est peu volumineux et d'une grande simplicité, puisque son mécanisme se compose seulement de cinq pièces en mouvement : deux pistons H et K, deux bielles E et K', un arbre A et un compteur de tours C.

Fonctionnement. — Considérons le compteur dans la position indiquée par la coupe CD. Le piston H a la manivelle de sa bielle horizontale, à gauche, et la bielle du piston K est verticale en bas. H tend à descendre et K à monter. Les canaux supérieurs des deux pistons sont

en regard des conduits d'aval et d'amont. L'eau s'introduit par 2 de K et e, sur H ; par 2 de H et f₂, sous K, et s'écoule du cylindre K par e₁ et 1 de H, et du cylindre H, par f₁, et 1 de K.

Les pistons ont marché d'un quart de tour ; la bielle du piston H est verticale en bas, la manivelle de la bielle du piston K est horizontale à droite ; K continue à monter, H monte également. Les canaux supérieurs de H et les canaux inférieurs de K sont en communication avec l'entrée et la sortie de l'eau :

L'eau s'introduit sous K, par 2 de H, et f₂.

— H, par 3 de K, et f₁.

L'eau s'écoule de K, par e₂ et 1, de H.

— H, par e₁ et 4, de K.

Si l'arbre se déplace à nouveau de 90°, nous aurons la manivelle de la bielle H horizontale, à droite, et la bielle de K, verticale en haut. K descend, H continue à monter. Les canaux inférieurs de H et les canaux inférieurs de K sont en communication avec l'entrée et la sortie de l'eau.

L'eau s'introduit sur K, par 3 de H et e₁.

— H, par 3 de 1 et f₁.

L'eau s'écoule de K, par f₂ et 4 de H.

— H, par e₁ et 4 de K.

En continuant à tourner de 90°, nous aurons la bielle de H verticale en haut, la bielle de K ayant sa manivelle horizontale à gauche. K continue à descendre ; H commence à descendre. Les canaux inférieurs de H et les canaux supérieurs de K sont en communication avec l'entrée et la sortie de l'eau.

L'eau s'introduit sur K, par 3 de H et e₂.

— H, par 2 de K et e₁.

L'eau s'écoule de K, par f₂ et 4 de H.

— H, par f₁ et 1 de K.

Avec un quart de tour en plus, le cycle complet sera obtenu et nous reviendrons à la première position ; la marche régulière du compteur sera assurée.

MM. d'Espine, Achard et C^e affirment que le compteur, graissé convenablement suivant leurs instructions, ne présentera, après une première année de fonctionnement, qu'une usure donnant une erreur

maxima de 2 0/0 ; pour chaque année suivante cette erreur sera réduite à 1 0/0.

Installation. — Le compteur Schmid doit être monté sur la conduite de refoulement de la pompe alimentaire, de façon que l'eau traverse l'appareil dans le sens de la flèche qui se trouve sur le compteur.

Si la conduite d'alimentation est munie d'une soupape de sûreté, ce qui est toujours désirable, le compteur doit être placé entre cette soupape et la chaudière.

Il est indispensable de veiller à l'étanchéité parfaite du clapet de retenue réglementaire de la chaudière, afin d'éviter les retours d'eau dans le compteur.

La vitesse du compteur ne doit jamais dépasser les débits indiqués ci-dessous. Si, à certains moments, ces débits se trouvaient dépassés, cela indiquerait que l'appareil est trop faible et doit être remplacé par un autre plus fort.

Débits maxima par minute.

Le compteur n° 1 ne devra pas débiter plus de 50 lit. par minute.

—	n° 2	—	100	—
—	n° 3	—	250	—
—	n° 4	—	400	—
—	n° 5	—	800	—

Ces débits doivent être vérifiés avec une montre à secondes, dès la mise en marche de l'appareil.

Si l'eau d'alimentation est très chaude, plus de 80°, il y a lieu de réduire sensiblement les chiffres précédents.

Lorsque l'alimentation est obtenue par un injecteur, le compteur enregistre le volume total d'eau, de vapeur et d'air, qui traverse l'appareil. Il faudra donc, pour connaître le volume de l'eau injectée, établir expérimentalement un coefficient de correction, variant de 8 à 15 0/0, qu'on appliquera aux chiffres du compteur.

Entretien. — Le compteur doit être graissé régulièrement trois fois par jour, pendant le fonctionnement même et non au cours d'un arrêt de l'alimentation. De cette façon, la graisse introduite se répartit de suite sur les surfaces frottantes qui doivent être lubrifiées.

Si l'eau d'alimentation ne dépasse pas la température de 60°, le graissage se fait avec la graisse minérale jaune. Au-dessus de 60°, on doit employer une graisse spéciale plombaginée ; il en est de même quand l'alimentation a lieu par injecteur.

En hiver, si le compteur ne fonctionne pas continuellement, on évite les accidents de la gelée en le vidant complètement chaque fois qu'on l'arrête. Le démontage s'obtient très facilement.

Enfin, si l'eau est pure ou épurée, un nettoyage annuel est suffisant ; dans le cas contraire, il y a lieu de nettoyer l'appareil plus fréquemment, afin d'empêcher les dépôts calcaires ou autres.

Economie. — L'emploi du compteur Schmid permet de réaliser des économies de combustible très sensibles, aux foyers des générateurs, en allouant aux chauffeurs des primes proportionnelles sur la réduction de la quantité de charbon consommée.

Compteur Samain.

MM. Samain et C^{ie}, constructeurs à Paris, présentaient, dans la classe 19, un compteur d'eau d'alimentation qui a reçu la sanction de la pratique, au cours de nombreuses applications industrielles.

Cet appareil (fig. 196 à 198) comprend un corps cylindrique horizontal, divisé en son milieu par une cloison F, qui forme ainsi deux cylindres égaux. Chacun des cylindres contient un piston jaugeur et les deux pistons sont animés d'un mouvement de va-et-vient par le seul entraînement du liquide ; ils engendrent, à chaque déplacement, une quantité d'eau constante et connue.

Les extrémités de chaque cylindre communiquent immédiatement et directement avec la boîte de distribution B, par les conduits 1, 3, 4, 5, ménagés dans la fonte.

Les conduits 2, 2, communiquent ensemble avec la tubulure de sortie S. Les tiroirs D D' distribuent l'eau aux pistons P et P', et le tiroir d'un cylindre est actionné par le piston de l'autre au moyen des leviers O et V.

Le piston P', étant à fond de course, a rencontré l'embase H de la tige T' ; celle-ci a entraîné le levier O et le tiroir D', pour découvrir le conduit 4 ; le liquide entrant par la tubulure E, traverse la grille G et s'introduit par le conduit 4, pour agir sur le piston R et le faire mouvoir vers la droite.

Dans ce mouvement, le liquide, évacué par les conduits 5 et 2, sort de l'appareil ; mais, en arrivant à fond de course, le piston P rencontrera l'embase de la tige T, entraînera cette tige, le levier V et le tiroir D. Le conduit 3 sera découvert et livrera passage au liquide pour déplacer le piston P' vers la droite ; celui-ci chassera devant lui le liquide qui sortira de l'appareil par les conduites 1 et 2.

Le piston P' arrivant à fond de course, rencontrera l'embase C de la tige T', entraînera cette tige, fera mouvoir le levier O et le tiroir D',

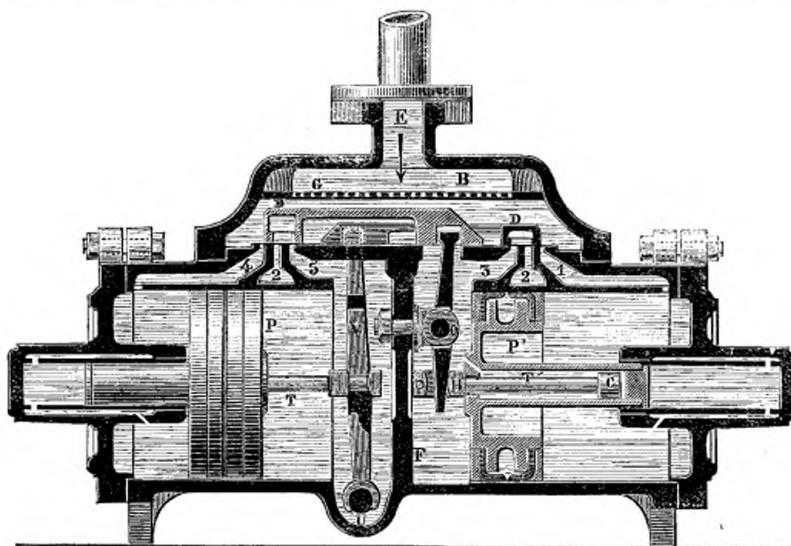


Fig. 496.

pour découvrir le conduit 3. L'eau passera aussitôt par ce conduit et actionnera P vers la gauche.

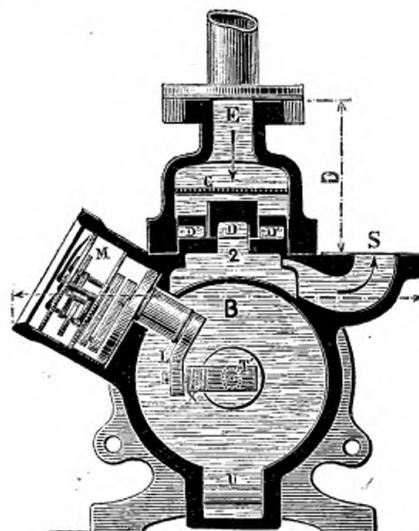


Fig. 497. — Compteur Samain.

Le liquide, précédemment introduit par 4, sortira par 4 et par 2. En arrivant à fond de course, P déplacera le tiroir D et découvrira le conduit 1.

La même circulation et le même travail se reproduiront ainsi indéfi-

niment, lentement, sans chocs, sans bruit, sans intermittences, et sans réduction de la pression du liquide.

La tige T' porte un prolongement X, qui actionne le levier L de l'enregistreur totalisateur ; celui-ci indique sur son cadran, en litres ou en hectolitres, la quantité d'eau qui traverse l'appareil.

Installation. — Le compteur peut être placé, dans les conditions suivantes, soit sur le tuyau d'aspiration, soit sur le tuyau de refoulement de l'appareil d'alimentation.

Dans le cas d'alimentation par pompe, si le compteur est placé à l'aspiration, il n'exige pas de soupape de sûreté ou de clapet de retenue. Sur le refoulement, c'est-à-dire entre la pompe et la chaudière, il nécessite :

1^o Une soupape de sûreté à l'entrée de l'eau, entre la pompe et le compteur ;

2^o Un clapet de retenue à la sortie, entre le compteur et la chaudière.

Dans le cas d'alimentation par injecteur, bouteille ou petit cheval à action directe, il faut placer, au refoulement, un clapet de retenue entre le compteur et la chaudière. A l'aspiration, l'appareil ne demande aucun accessoire.

Le compteur peut être placé à l'aspiration lorsque la température de l'eau ne dépasse pas 35 à 40°. Pour des températures supérieures, il faut que l'eau arrive en charge et il y a lieu d'examiner le système d'alimentation.

Les contrebrides fournies avec l'appareil sont prévues pour tuyaux en cuivre à collets brasés. Les joints doivent être faits au caoutchouc ordinaire pour vapeur, à l'exclusion du minium.

Avantages du système. — Le compteur étant placé dans la position horizontale, la pression du liquide n'a pas à lutter avec le poids des pistons, ce qui évite les pertes de charge, les chocs, les intermittences, etc. De plus, ces pistons sont parfaitement guidés et soutenus pendant leurs déplacements.

Les cylindres jaugeurs ayant de grandes dimensions, il en résulte une très faible vitesse des pistons et des organes mobiles, ce qui évite en partie l'usure et les détériorations rapides.

L'appareil ne comporte pas de presse-étoupe, afin de supprimer un entretien et des réparations difficiles.

Les pistons jaugeurs sont étudiés spécialement en vue de la perfec-

tion du guidage et de l'étanchéité de leurs garnitures-soupapes, qui se comportent très bien à l'eau chaude, sans aucun graissage.

Enfin, les organes sont robustes et construits en bronze de première qualité. Les compteurs sont livrés après épreuves à l'eau bouillante et à haute pression.

MM. Samain et C^{ie}, construisent ces appareils d'une façon courante, suivant les indications contenues dans le tableau ci-contre (fig. 198).

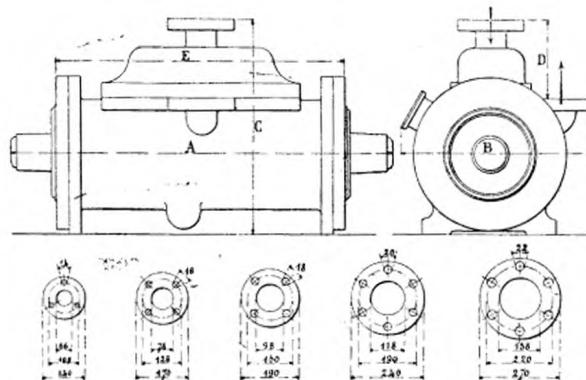


Fig. 198.

N ^o s	ORIFICES	DÉBITS EN LITRES A L'HEURE	A	B	C	D	E	FODS
1	50	3.000 litres	750	400	400	450	540	90
2	70	6.000 —	930	570	515	490	670	330
3	90	13.000 —	4.230	660	630	210	830	480
4	110	23.000 —	4.400	750	765	225	960	790
5	130	50.000 —	4.750	850	915	253	1.180	1.235

Compteurs « Etoile », à piston-disque

La Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'Usines à gaz, à Paris, exposait un nouveau système de compteur à disque métallique, pour l'alimentation des générateurs.

Ces appareils fonctionnaient à l'usine Suffren et à l'usine La Bourdonnais, sur les conduites des pompes des chaudières Niclausse.

Le compteur « Etoile » est d'une grande simplicité (fig. 199 et 200) ; la seule pièce mobile est un piston-disque métallique, dont les contacts avec les parties coniques et sphériques de chambre divisent celles-ci en

capacités analogues à celles que donnent les pistons des compteurs de volume.

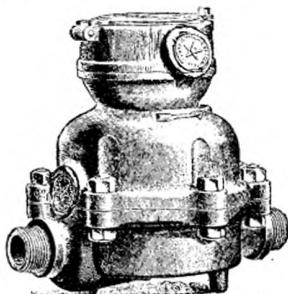


Fig. 199.

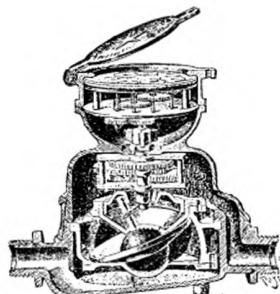


Fig. 200.

Le disque fait corps avec une sphère métallique mobile, maintenue par deux plateaux qui épousent sa forme, et traversée par une tige guidée dans une rainure. Cette tige attaque le doigt d'un mouvement d'horlogerie, qui enregistre le nombre de girations et le traduit en mètres cubes sur les cadrans extérieurs.

Le passage des bords du disque devant les orifices d'entrée et de sortie de la chambre, assure la distribution de telle façon que chaque mouvement giratoire correspond au passage d'un volume d'eau exactement égal à celui de la chambre. C'est donc un compteur de volume construit avec beaucoup de précision ; il est composé de matériaux inaltérables, présentant toute garantie de durée ; les réparations sont rares et peu coûteuses, toutes les pièces étant absolument interchangeables.

Installation. — Les compteurs pour alimentation à l'eau chaude se placent sur la conduite de refoulement de la pompe alimentaire et il est nécessaire d'installer, en aval de l'appareil, un clapet de retenue, si la canalisation n'en est pas munie.

Les compteurs pour alimentation à l'eau froide peuvent être placés sur la conduite d'aspiration de la pompe alimentaire, à condition que les eaux ne contiennent pas de matières grasses.

La Compagnie n'accorde aucune garantie pour ces appareils spéciaux, les conditions dans lesquelles ils sont placés étant très variables et absolument en dehors de son contrôle ; mais en se conformant aux indications suivantes, on obtient pleine satisfaction.

Les compteurs « Etoile » fonctionnent bien à la condition unique d'être traversés par des eaux exemptes de corps étrangers ; il y a donc

lieu de proscrire toute espèce de joints au minium ou à la céruse ou, au moins, de prendre la précaution ci-après :

Intercaler le compteur sur la canalisation après en avoir préalablement enlevé la boîte à disque et ne remettre cet organe principal qu'après un certain temps de marche, de façon à être sûr que toutes les impuretés de la conduite en amont ont été entraînées.

L'appareil doit être placé horizontalement, sur ses pieds, le plus loin possible de la pompe de refoulement, afin d'éviter les chocs ; il est bon de placer une soupape de sûreté entre la pompe et le compteur. Avoir soin de placer l'appareil dans le sens des flèches qu'il porte.

Il est recommandé de prévoir, dans l'installation, une disposition de tuyauterie, dite « by-pass », constituée par un jeu de vannes et permettant la circulation directe de l'eau, sans traversée du compteur. Cette disposition permet de déposer, de nettoyer ou de réparer l'appareil sans avoir d'interruption dans le service.

La Compagnie pour la fabrication des Compteurs et Matériel d'usines, construit des compteurs « Etoile » dans les conditions indiquées au tableau ci-dessous.

Numéros	DIAMÈTRE DES ORIFICES	ENCOMBREMENTS EN MILLIMÈTRES			POIDS en KILOGRAMMES	
		Hauteur	Largeur	Longueur		
		mm	mm	mm		
4	12	460	435	435	3.700	
2	15	470	450	485	4.400	
3	20	485	475	220	6.450	
4	30	495	205	265	9.360	
5	40	215	265	345	17.300	
6	60	245	300	530	33.000	
7	80	340	510	850	67.000	

Appareils de la Maison Muller et Roger.

MM. Muller et Roger, constructeurs à Paris, ont exposé dans la classe 19, de nombreux spécimens des appareils accessoires qu'ils fabriquent pour les chaudières et les machines à vapeur.

L'étude détaillée de chacun de ces appareils nous entraînerait un peu loin ; aussi, nous nous bornerons à examiner rapidement ceux qui présentent un intérêt particulier et qui ont été employés par le service des

installations mécaniques de l'Exposition, pour les canalisations de vapeur aériennes et souterraines. (Nous avons dit, dans un précédent chapitre, que MM. Muller et Roger, de concert avec la Société Mathot et MM. Supervielle et Pellier, avaient obtenu, après adjudication, la fourniture et l'entretien de ces canalisations).

Robinet de prise et de distribution de la vapeur. — Ces robinets sont de cinq types bien distincts :

1^o Pour les grosses conduites de 250 mm de diamètre, dans lesquelles circulait la vapeur à 11 kg. de pression, on a employé le robinet bi-valve, en fonte et bronze en raison de son étanchéité parfaite et de sa douceur en manœuvre (fig. 201 et 202).

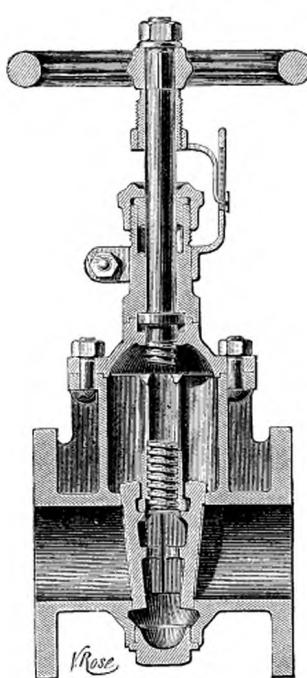


Fig. 201.

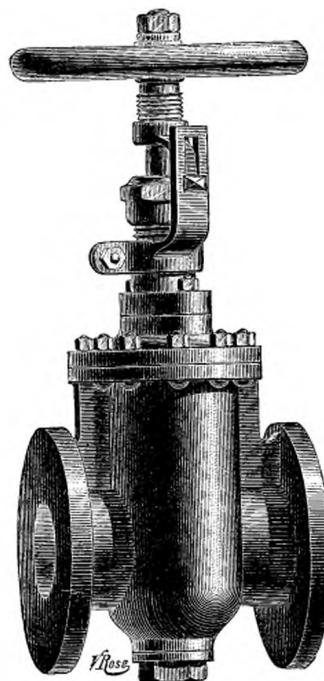


Fig. 202.

Un homme peut facilement ouvrir ou fermer un bi-valve de 300 mm en actionnant directement le volant.

Ce type de robinet a fait d'ailleurs ses preuves dans l'Industrie et la Marine de l'Etat où il est adopté d'une façon générale. Il se compose d'un corps elliptique présentant deux plans inclinés parfaitement dressés sur lesquels viennent s'appliquer deux disques indépendants l'un de

l'autre, guidés pendant toute leur course dans des rainures venues de fonte.

Un écrou mobile, encastré dans les disques, permet, au moyen d'une vis, de faire manœuvrer l'appareil.

2^o Pour les petites conduites à pression de 11 kg., le type Bromulger a été le plus souvent employé en raison de sa construction robuste, de sa manœuvre facile et de son étanchéité parfaite (fig. 203).

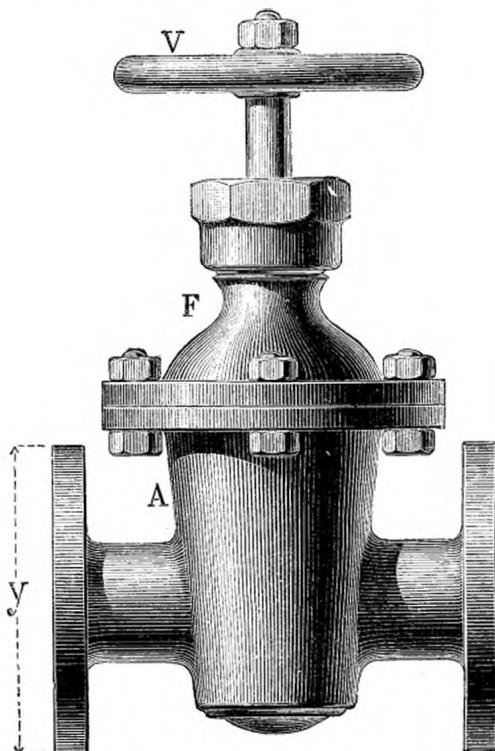


Fig. 203.

C'est un robinet à passage direct de vapeur, dont la clef conique est munie de fortes nervures venant glisser sur des nervures guides, venues de fonte avec le chapeau du robinet. La garde est considérable, la clef étant pleine. Le serrage de la clef étant commandé en dessous du centre de gravité, l'obturation est parfaite et sans coinçage possible.

Enfin, l'ouverture du robinet est apparente puisque la vis monte dans son écrou quand on veut obtenir l'ouverture.

3^o Pour les conduites à moyenne pression, on a choisi les robinets à soupape, tout en bronze pour les petits diamètres, et en fonte et bronze pour les gros.

Dans ces deux modèles, le guidage de la soupape est obtenu par la partie inférieure du clapet, ce qui assure sa correction par rapport au siège.

4^o Pour toutes les conduites de petit diamètre à pression moyenne, on a placé des robinets à boisseau ordinaire ou à boisseau foncé suivant les cas et les dispositifs d'installation.

Les robinets à boisseau foncé ont sur le boisseau ordinaire l'avantage de ne pas laisser de fuite apparente.

5^o Pour les petits robinets purgeurs, on a surtout employé des purgeurs à boisseau foncé, présentant sur le boisseau ordinaire le même avantage que celui énoncé précédemment.

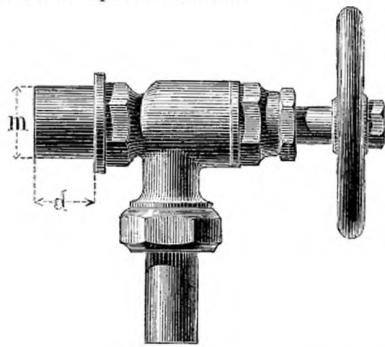


Fig. 204.

Pour les hautes pressions, on a employé le type à pointeau dit « Purgeur à vis et raccord avec ou sans tubulure rodée » (fig. 204).

Clapets automatiques de retenue de vapeur, système Pasquier. — Ces appareils sont indispensables pour parer aux accidents provenant de l'écoulement de la vapeur, au moment où se produit une rupture de conduite ou de récipient en communication avec les générateurs de vapeur. Ils se composent d'un clapet, maintenu ouvert par un contrepoids qui l'équilibre et le fait flotter dans le courant de vapeur.

Le contrepoids peut être déplacé sur son levier pour le réglage de l'appareil. Dans le cas d'une rupture de conduite, la vapeur s'échappant à l'air libre produira subitement un courant plus rapide, qui entraînera avec lui le clapet et le fera porter sur son siège, fermant ainsi le passage de la vapeur et arrêtant son écoulement à l'extérieur.

MM. Muller et Roger construisent également un clapet double, du même système (fig. 205), avec lequel on obtient le même effet qu'avec le clapet simple, mais dans les deux sens, c'est-à-dire que la fermeture

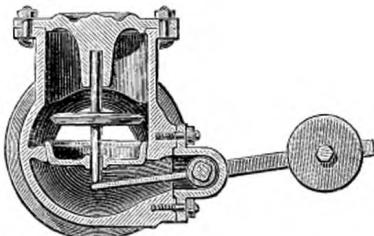


Fig. 205.

se produit aussi bien en cas de rupture de la conduite en aval de l'appareil qu'en cas d'explosion au générateur, en amont. Ce clapet permet donc d'éviter que, dans une batterie, plusieurs chaudières se vident toutes au moment où une seule vient à faire explosion.

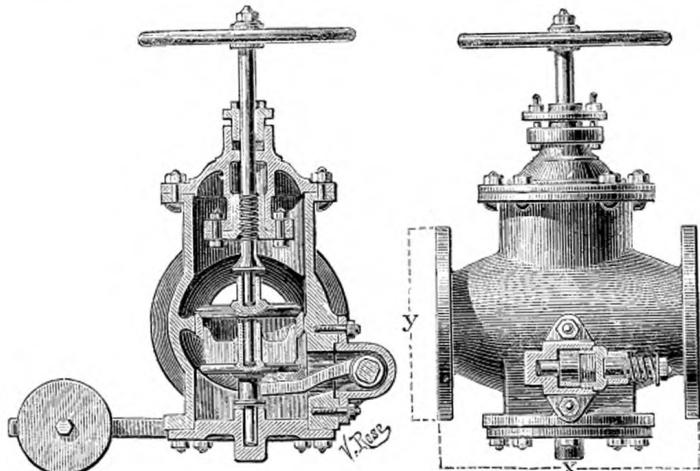


Fig. 206.

Grâce au levier extérieur, il est possible, avec ce système, d'exercer un contrôle facile et constant de l'appareil.

Dans certains cas, on emploie une autre disposition dans laquelle le clapet forme robinet, ce qui évite un robinet de prise de vapeur (fig. 206). On réalise ainsi une économie assez sensible et on diminue l'emplacement nécessaire aux appareils.

Manchons de dilatation ou joints compensateurs. — Ces manchons

forment de véritables presse-étoupes qui sont intercalés dans les parties droites des conduites de vapeur, de façon à permettre leur libre dilatation, les extrémités de la portion de conduite considérée devant rester fixes.

Ces appareils ne présentent aucune particularité; ils doivent seulement être construits d'une façon très soignée, avec beaucoup de précision.

Séparateurs ou Purgeurs automatiques d'eau de condensation. — On peut varier à l'infini le genre et la forme des séparateurs de vapeur et d'eau condensée ; tout dispositif présentant un obstacle à l'écoulement de l'eau dans le courant de vapeur atteint le but proposé.

Pour rendre l'évacuation constante, on a installé des purgeurs automatiques système *Geipel* qui, en raison de leur simplicité, sont d'un fonctionnement très sûr.

Ce type, adopté par la marine de l'Etat pour fonctionner sous des pressions de 15 à 18 kg., a été admis, après concours, pour la purge des canalisations à l'Exposition.

Cet appareil est basé sur la propriété suivante du triangle isocèle.

Quand l'angle au sommet est très aigu : « Une augmentation très faible d'un côté AC, le côté AB restant de longueur constante, provoque un très grand déplacement du sommet A » (fig. 207).

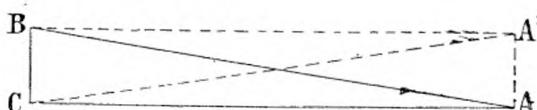


Fig. 207.

Pour appliquer ce principe, on a réuni un tube E et un tube en fer S de telle façon qu'ils forment un triangle isocèle dont le sommet porte une boîte à soupe (fig. 208).



Fig. 208.

La base de ce triangle est fixée au bâti de l'appareil ; son sommet, formé par le siège et la boîte de soupe, peut glisser le long de la tige

de soupape, grâce au presse-étoupe B. Cette tige est solidaire du bâti par le levier qui permet d'en régler la hauteur.

Lorsque le purgeur est froid, c'est-à-dire quand il n'y a pas de vapeur dans l'appareil, la soupape C est ouverte, le sommet du triangle se trouvant dans la position A du schéma précédent.

Si on fait passer la vapeur dans l'appareil, il se produira une dilatation inégale des deux tubes, puisque l'un est en cuivre et l'autre en fer. Cette déformation amènera le triangle dans la position A'BC du schéma, le sommet s'élevant jusqu'à venir buter le siège contre la soupape. Le passage sera donc fermé à la vapeur.

L'eau de condensation va alors s'accumuler dans l'appareil ; il en résultera un refroidissement qui produira une contraction des tubes et fera revenir le triangle dans sa position primitive ABC, en séparant la soupape de son siège. Le passage sera ouvert à l'eau qui s'échappera par le tube en fer. Dès que l'eau aura disparu, la vapeur viendra à nouveau réchauffer l'appareil, provoquera la fermeture de la soupape et le même phénomène se reproduira.

Le fonctionnement de ce purgeur est donc très simple et indépendant de tout mécanisme. Le seul organe susceptible d'usure, le clapet, se démonte et se visite facilement.

De plus, pour purger à fond, et à n'importe quel moment, il suffit d'appuyer sur le levier ; on provoque ainsi l'ouverture de la soupape.

Détendeurs de pression.— Nous avons vu que les canalisations souterraines du service de la force motrice distribuaient la vapeur à 11 kg. de pression. Certaines machines exposées ayant été construites pour une pression de régime de 5 ou 6 kg., il était nécessaire de réduire la pression initiale. De plus, les variations de travail étant parfois considérables, il fallait que cette réduction soit obtenue automatiquement, de façon qu'elle permette de régulariser en même temps la tension de la vapeur et de faciliter le fonctionnement des régulateurs à force centrifuge.

Le détendeur système Muller et Roger, d'un usage courant dans la marine, remplissait les conditions précédentes ; il a été adopté pour les machines Farcot, Schneider, Société Alsacienne de Belfort, etc.

L'appareil (fig. 209) comprend une boîte en bronze, fonte ou acier, qui renferme une soupape *s* équilibrée par rapport à la pression initiale et capable d'être réglée par l'intermédiaire d'un ressort R' et d'un volant V, de manière à équilibrer l'effort développé sur la soupape

par la vapeur détendue. En marche, la soupape se trouve donc maintenue pour donner une ouverture, capable d'assurer le débit nécessaire de vapeur en même temps que la pression convenable, et cela quelles que soient les variations de la pression initiale, puisque celle-ci n'a d'effet que sur les surfaces égales de la soupape.

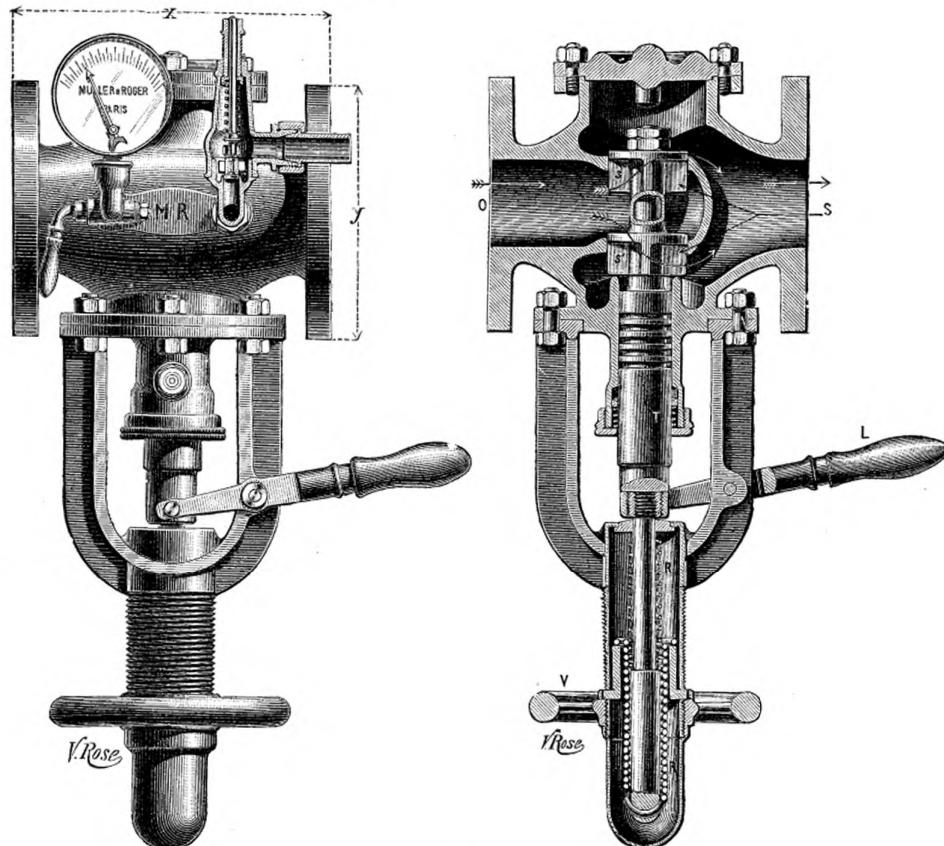


Fig. 209.

Mais il n'en est pas de même pour la vapeur détendue. En effet, si la pression devient plus élevée derrière l'appareil, son effort sur la soupape devient plus grand que l'effort antagoniste du ressort; celui-ci

laisse alors la soupape s'abaisser et restreindre l'orifice et, par suite, le débit de la vapeur, jusqu'à ce que la pression se rétablisse.

Si, au contraire, la pression de la vapeur détendue vient à diminuer, l'effet inverse se produit, la soupape se lève et assure un débit plus considérable de vapeur.

L'appareil présente une grande facilité de réglage, un contrôle continu du fonctionnement, grâce au levier solidaire de la soupape qui en traduit tous les mouvements, et un graissage commode qui donne une grande sensibilité au mécanisme.

Il est utile de placer une soupape de sûreté à la sortie du détendeur. En effet, si la tension venait à s'équilibrer des deux côtés de la soupape *s* par suite de la suppression totale du débit, la soupape de sûreté, réglée pour la pression de détente, laisserait échapper l'excès de vapeur et permettrait d'éviter tout accident.

Déverseur de vapeur.— Cet appareil, absolument analogue au précédent, comme construction, est destiné à déverser la quantité de vapeur, produite en excès par un ou plusieurs générateurs, dans une conduite en communication avec des chaudières d'un timbre moins élevé, et quelles que soient les variations de pression qui peuvent se produire dans celle-ci.

La tubulure *S* communique avec les chaudières à basse pression dont les variations de tension ne peuvent influencer la soupape *s s'* puisque les deux surfaces sont égales.

La tubulure *O* communique avec les générateurs à haute pression. Comme dans l'appareil précédent, l'effort de la haute pression est combattu par le ressort antagoniste *R'*. Donc, si après réglage la pression en *O* vient à s'élèver, la soupape *s* s'ouvrira et laissera échapper la vapeur dans la conduite *S*, quelle que soit sa pression, remplissant en résumé le rôle d'une soupape de sûreté dont la partie aval serait équilibrée.

Cet appareil présente ainsi de grands avantages au point de vue économique.

Soupapes de sûreté.— Il est reconnu aujourd'hui que les soupapes ordinaires ne sont que de simples avertisseurs, leur levée étant toujours insuffisante pour l'écoulement d'un excès de vapeur. Elles ont néanmoins de très nombreuses applications ; mais, si l'on doit compter sur le débit d'une soupape pour évacuer automatiquement tout ou partie de la production d'une chaudière soumise à un feu trop vif ou aban-

donnée à elle-même, ce qui est le but d'un appareil de sûreté, il faut avoir recours aux appareils à échappement progressif.

La soupape du système Dulac remplit parfaitement cette condition. Elle est caractérisée par un compensateur, un mode d'articulation du levier et un guidage du clapet particuliers (fig. 210).

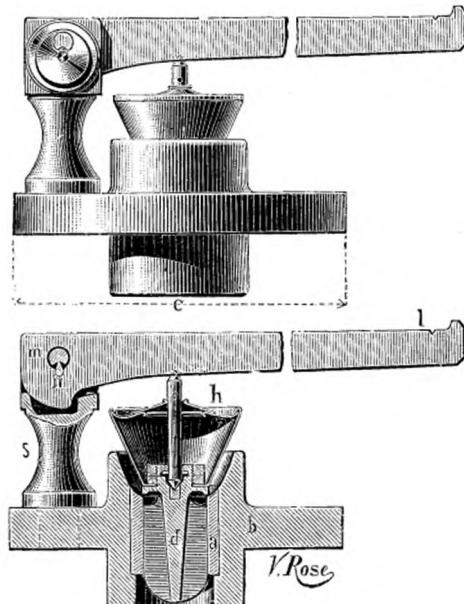


Fig. 210.

Le compensateur est formé d'un tronc de cône métallique léger, qui surmonte le clapet *d*, et d'un ajutage prolongeant le siège *a* en enveloppant le tronc de cône sur une partie de sa hauteur et en formant entre les deux organes un espace annulaire suffisant pour l'écoulement de la vapeur.

Le levier *l* oscille sur un couteau en acier *n*; cette disposition, considérée comme dangereuse avec quelque raison, offre cependant une sécurité absolue par suite de la précaution qu'on a prise de faire traverser le levier par le cylindre en acier *m*, dans l'encoche duquel oscille le couteau *n*. Grâce à ce dispositif, aussi simple que rationnel, l'articulation conserve une extrême sensibilité et résiste facilement aux chocs à l'arrachement. Le guidage précis du clapet est obtenu par de

longues ailettes inférieures *d* dont le poids place le centre de gravité du mobile au-dessous du portage.

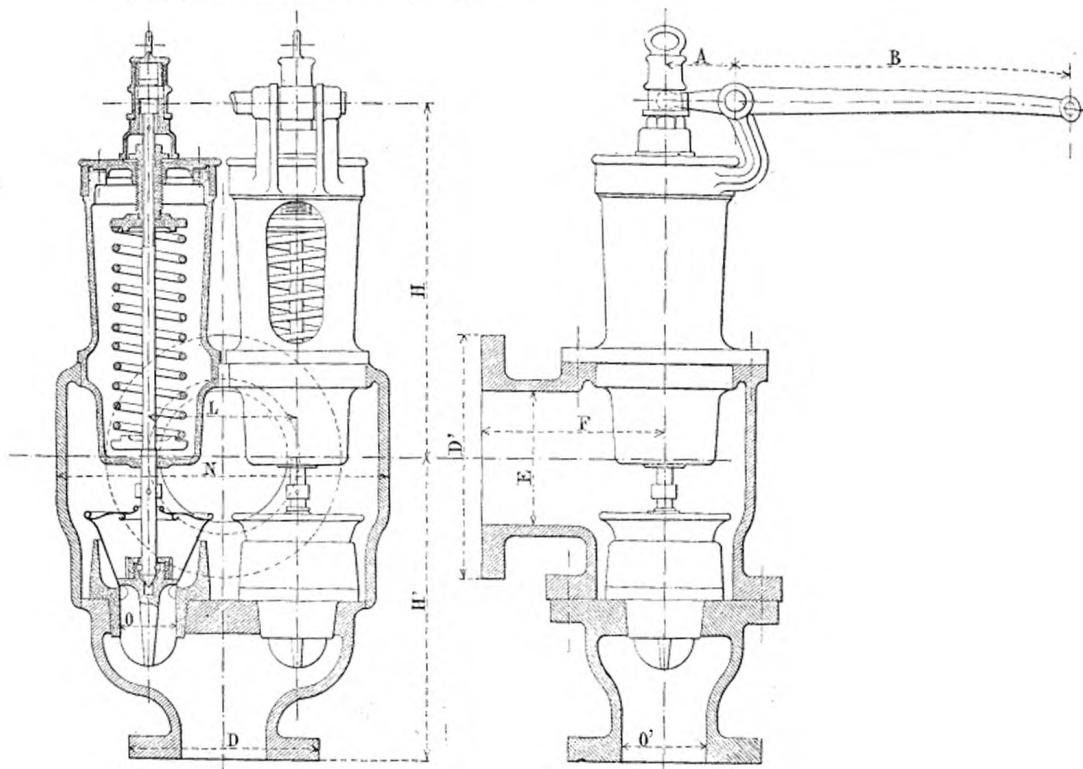


Fig. 211.

	O	O'	E	D	D'	H	H'	F	L	N	A	B
Tableau	21	30	45	115	130							
des cotes d'encombrement	26	40	60	130	150	200	192	100	84	196	42	210
(fig. 211).	33	50	75	150	180	240	240	125	105	240	50	250
	41	60	92	170	210	280	265	150	130	278	56	280
	46	70	110	190	230	308	295	165	145	311	60	300
	56	80	130	210	250	355	310	180	162	350	70	350
	66	95	150	230	280	405	350	210	182	410	80	400
	76	110	170	254	310	450	388	240	190	430	90	450

Quand la pression de la vapeur est supérieure à la charge, le clapet se soulève, la veine fluide en s'écoulant dans l'atmosphère, éprouve une perte de pression dont l'influence se fait sentir sous le clapet de la soupape; mais cette vapeur, en s'échappant par l'espace annulaire com-

pris entre l'ajutage et le tronc de cône, produit une action mécanique qui aide au soulèvement du clapet en compensant exactement la perte de charge provenant de la vapeur brusquement détendue.

L'action de cette vapeur est divergente ; elle n'agit pas par choc, mais bien par pression sur des surfaces de plus en plus développées. C'est l'unique moyen d'obtenir l'équilibre constant des forces, de limiter le soulèvement du clapet à la hauteur rigoureusement nécessaire pour éviter toute surpression dangereuse et toute perte inutile de vapeur.

Comme conséquence des grandes levées, on obtient un grand débit, et, par suite, une réduction de diamètre pour un débit donné. Dans ces conditions, la soupape Dulac peut débiter 100 kg. de vapeur par centimètre carré et par heure alors qu'on obtient 20 kg. seulement avec la soupape ordinaire à articulation sur couteau et 6 kg. avec la soupape commerciale à articulation sur axe cylindrique.

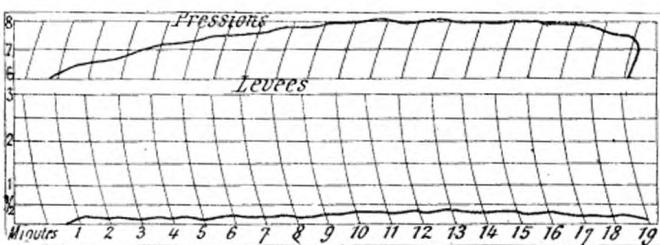


Fig. 212.

4^e Fonctionnement des soupapes ordinaires (Diagramme fig. 212).

<i>Données</i>		<i>Résultats</i>
Surface de grille.....	0,80 d ²	Surpression maximum 2 kg.
Diamètre de la soupape .	60 mm	Soulèvement maximum du clapet.. 5/20 de m/m
Surface de chauffe	24 m ²	Section maximum d'écoulement..... 47 m ²
Pression initiale.....	6 kg. .	Débit approximatif à l'heure..... 70 kg.
		Débit à l'heure par cent ² de section totale. 2 ¹ 5,500

L'accroissement de pression n'a diminué que grâce à la fermeture du registre et à l'ouverture des portes du foyer. Suppression et faible débit dus à la perte de charge sous le clapet par suite de l'écoulement du fluide, et aux résistances passives.

Ces chiffres dispensent de tout commentaire. Pour les confirmer, nous donnons (fig. 212 à 214), une série de diagrammes empruntés au rapport de M. Walckenaer, ingénieur en chef des Mines, dont la Commission consultative des machines à vapeur vota l'insertion dans les *Annales des Mines*.

Dans le cas de fortes pressions, quand les appareils simples ne sau-

raient convenir, en raison des poids considérables que devraient supporter les leviers, et pour éviter l'emploi de ressorts puissants capables de résister à l'effort exercé par la pression sur la surface de la soupape, on emploie les soupapes de sûreté équilibrées.

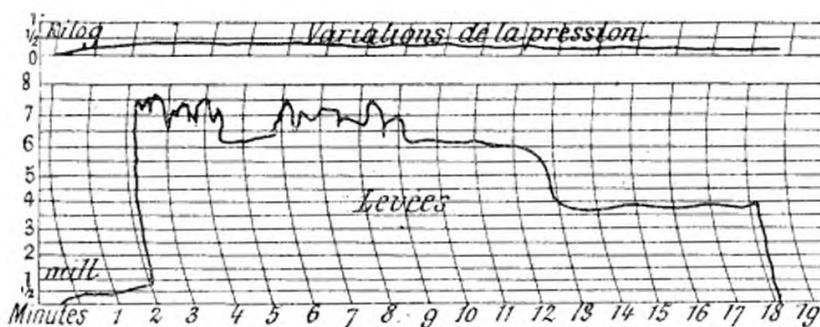


Fig. 213.

Fonctionnement de la soupape Dulac.

Diagramme (fig. 213) obtenu en faisant passer toute la production d'une chaudière soumise à un feu actif et abandonnée à elle-même pendant l'essai.

Données

Surface de grille..... 1^{m²}, 56
Surface de chauffe 34^{m²}, 50
Diamètre de la soupape. 36 mm
Pression initiale..... 5 kg.

Résultats

Surpression maximum inférieure à 0^{sr}, 500
Soulèvement maximum du clapet..... 7^{mm}, 5
Section maximum d'écoulement..... 1,000 m²
Débit moyen à l'heure..... 925 kg.
Débit par centimètre carré de section totale 100 kg.



Fig. 214.

Diagramme (fig. 214) obtenu en réduisant le diamètre de la soupape et en soutenant l'allure active du foyer, pendant la première moitié de l'expérience, afin de déterminer le poids maximum de vapeur écoulé dans l'unité de temps.

Données

Surface de la grille..... 1^{m²}, 56
Surface de chauffe..... 24^{m²}, 50
Diamètre de soupape 32^{mm}, 5
Pression initiale..... 4^{kg}, 420

Résultats

Surpression maximum 0^{sr}, 300
Soulèvement maximum du clapet..... 7^{mm}, 3
Section maximum d'écoulement..... 767 m²
Débit moyen à l'heure. 965 kg.
Débit par centimètre² de section totale... 109 kg.

Ces appareils sont appliqués en particulier sur le refoulement des pompes alimentaires, afin d'éviter la rupture des tuyaux de conduite

lorsque, par suite d'une négligence du chauffeur, le robinet d'alimentation n'a pas été ouvert au moment de la mise en marche.

Appareils Bourdon.

M. Edouard Bourdon, constructeur à Paris, présentait, dans la classe 19, un certain nombre d'appareils spéciaux pour machines à vapeur et chaudières, et, en particulier, un manomètre enregistreur et un nouvel indicateur de niveau d'eau (Voir *Pl. 39*).

Manomètre enregistreur. — Le manomètre métallique Bourdon est connu depuis de longues années et nous n'avons pas à en décrire le mécanisme ou le fonctionnement. L'adjonction de l'appareil enregistreur, tel que l'a conçu M. Edouard Bourdon, rend l'emploi du manomètre très intéressant, en ce sens qu'il permet de se rendre compte, d'un coup d'œil, des variations de la pression à tout instant de la journée.

L'ensemble (Voir *Pl. 39*), n'est guère plus encombrant qu'un manomètre ordinaire, dont la disposition extérieure a d'ailleurs été conservée. L'aiguille indicatrice et le traceur sont fixés sur le même axe, de sorte que tous leurs mouvements sont solidaires.

Les différentes pièces se trouvant complètement renfermées, il n'est pas possible de fausser les indications de l'enregistreur. Enfin, le mouvement d'horlogerie peut s'enlever sans que, pour cela, le fonctionnement du manomètre soit arrêté ou modifié.

Indicateur de niveau d'eau. — L'indicateur de niveau, système Bourdon (Voir *Pl. 39*), comprend un flotteur, équilibré sur un levier à contrepoids, et dont les mouvements sont transmis par une tige articulée, placée verticalement, qui commande l'aiguille indicatrice et le siflet d'alarme.

La tige est enfermée dans un tube, portant, à la partie supérieure, le cadran et le siflet et à la partie inférieure, une pièce coudée dont l'extrémité forme le point d'oscillation du levier du flotteur.

Le flotteur plein équilibré n'a pas l'inconvénient des lentilles creuses qui présentent souvent des défauts d'étanchéité.

Le mode de suspension et d'articulation du levier assure une grande solidité, sans nécessiter aucune attache dans la chaudière.

Le petit axe qui porte l'aiguille forme joint étanche au moyen d'une partie conique rodée, ne donnant lieu qu'à un frottement insignifiant

Cette disposition permet d'obtenir des indications très précises rendues bien apparentes, même de loin, par l'aiguille noire sur cadran blanc. L'appareil pouvant être placé dans tous les sens, il est facile d'orienter le cadran vers le côté où il doit être le plus visible.

Le même sifflet d'alarme fonctionne pour annoncer, soit le manque d'eau, soit le trop d'eau. Le système de cames intérieures permet de régler exactement les points où le sifflet doit se faire entendre, et le fonctionnement de celui-ci ne gêne en rien les mouvements de l'aiguille qui continue à indiquer toutes les variations du niveau.

Du côté opposé au cadran, le corps de l'appareil est muni d'un couvercle qui, une fois enlevé, laisse une ouverture circulaire permettant d'atteindre les pièces du mécanisme intérieur. Cette disposition donne toute facilité pour la mise en place, le réglage et la visite.

L'appareil ne comportant pas de pièces de fabrication spéciale, aimants, ressorts, etc., peut être entretenu et réparé par tous les mécaniciens. En cas d'usure ou d'accident, il suffit d'enlever le couvercle pour démonter et remplacer ensuite les différents organes correspondants à l'aiguille et au sifflet.

CHAPITRE X

ASSOCIATIONS DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

Nous avons eu l'occasion, au cours de cet ouvrage, de relater un certain nombre d'expériences qui ont été faites sur des chaudières en fonctionnement par les représentants autorisés de différentes associations des propriétaires d'appareils à vapeur.

Ces associations, très répandues aujourd'hui en France, ont rendu à l'industrie de grands services par leurs heureuses initiatives, au point de vue de la surveillance et de la sécurité des appareils à vapeur.

Dans la classe 19, les associations françaises présentaient une exposition collective formant un véritable musée des avaries et des défauts que l'on rencontre dans les chaudières, au moment des visites intérieures et extérieures de leurs organes. On pouvait y voir des exemples de corrosions de toute nature, des bosses, criques, pailles, fentes, déchirures et fissures de tubes, etc.

De plus, un certain nombre de graphiques donnaient, pour la France, tous les renseignements statistiques des associations elles-mêmes et des opérations auxquelles elles se livrent : établissements associés, chaudières inscrites, visites faites par le personnel, relevés d'essais, réceptions de chaudières, de tôles et de tubes, etc.

Enfin, des photographies et des gravures spéciales représentant une série d'explosions et d'avaries les plus intéressantes, et les comptes rendus des réunions, complétaient l'ensemble instructif de cette exposition.

Au Congrès international de surveillance et de sécurité des appareils à vapeur, organisé par les Associations françaises sous la présidence de M. Linder, inspecteur général des mines, un certain nombre de rapports ont été présentés sur la construction et le fonctionnement des chaudières à vapeur, sur les épreuves, les accidents, les garanties à exiger des chauffeurs, l'hygiène des chaufferies, l'épuration des eaux, etc. Nous citerons en particulier ceux de M. Olry, ingénieur en chef des

Mines, sur les régimes divers de surveillance des appareils à vapeur, et de M. Compère, ingénieur, directeur de l'Association parisienne, sur les chaudières à petits éléments.

Au cours de ses séances, le Congrès a émis plusieurs vœux qui présentent un certain intérêt ;

1^o Le Congrès émet le vœu que, dans chaque Etat, il soit publié des statistiques, établies sur les mêmes bases, faisant connaître par année et par catégorie d'appareils à vapeur, l'effectif des appareils, de leurs accidents et des conséquences de ceux-ci.

2^o Le Congrès estime qu'il est désirable, dans les pays où il existe des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, que les pouvoirs publics combinent l'action desdites Associations avec celle de l'Etat, en réduisant cette dernière au strict nécessaire.

3^o Le Congrès estime que les épreuves hydrauliques des appareils à vapeur ayant déjà servi ne donnent pas à elles seules des garanties suffisantes de sécurité, si elles ne sont pas accompagnées d'une visite complète.

4^o Il est désirable, lorsqu'une chaudière dont l'épreuve hydraulique se fait chez le constructeur doit être transportée neuve du pays constructeur dans un autre pays, que l'épreuve officielle faite dans le pays d'origine soit considérée comme équivalente de l'épreuve du pays d'emploi, pourvu que toutes les conditions prescrites par les règlements de ce dernier pays aient été remplies lors de l'épreuve et aient fait l'objet d'un constat régulier.

5^o L'attention des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur est attirée sur l'utilité qu'il y aurait pour la sécurité publique à étendre leur surveillance sur l'emploi et la construction des récipients de vapeur.

6^o L'attention des industriels faisant usage d'appareils à vapeur est attirée, tant dans leur intérêt au point de vue de leur responsabilité que dans celui de la sécurité des personnes chargées de la conduite des chaudières, sur la nécessité d'installer des chaufferies spacieuses telles que le séjour pour le personnel y soit hygiénique en tout temps et qu'en cas d'accident, en quelque point qu'un chauffeur se trouve occupé, il ait à sa disposition, pour s'échapper, des issues directes toujours libres et aisément praticables.

7^o Il est désirable, dans la construction et l'installation des chaudières à tubes d'eau, non seulement que toutes les précautions utiles soient prises pour rendre inoffensive la rupture éventuelle d'un tube

vaporisateur, mais encore que tous les tampons de trous soient exclusivement à fermeture autoclave.

Quelques questions ne comportaient pas de vœux, mais simplement des conclusions. Celles de M. Compère sur la fabrication des chaudières, sont particulièrement intéressantes : elles résultent d'essais effectués sur des appareils à vapeur dans le but de juger de l'efficacité et de la nécessité du matage. Nous les citerons intégralement :

« Il est permis de déduire des expériences qu'un rivetage fait avec soin pourrait presque assurer par lui-même l'étanchéité des assemblages, sauf en ce qui concerne les croisements de tôles, où l'étirage des pinces ne peut, en pratique, être suffisamment précis pour donner une superposition parfaite des parties en contact.

« En conséquence, le matage des chanfreins et des rivures ne doit être considéré, en construction soignée, que comme un correctif du rivetage, et non comme son complément indispensable.

« Le matage doit donc être fait très légèrement, sans bourrage de métal, et pour ainsi dire, uniquement pour parer les chanfreins et donner à la construction un bel aspect.

« En matière de réparation, il ne faut avoir recours au matage qu'avec prudence.

« En présence de fuites persistantes, ayant de mater, il est utile de vérifier la rivure enlevant un ou plusieurs rivets au droit de la fuite. »

CONCLUSION

Les générateurs de vapeur ont été divisés jusqu'à ce jour en deux grandes classes :

- 1^o Générateurs multitubulaires ou à petits éléments ;
- 2^o Générateurs à grand volume d'eau, avec foyer extérieur ou avec foyer intérieur.

Si nous appliquons cette division aux appareils qui figuraient à l'Exposition Universelle de 1900, un fait très caractéristique se dégage de l'examen d'ensemble : c'est l'augmentation sensible du nombre de chaudières multitubulaires.

Une simple récapitulation des générateurs français et étrangers qui fonctionnaient à l'usine Suffren, à l'usine La Bourdonnais et à Vincennes (V le tableau détaillé, p. 10) nous donne, pour chacun des deux types principaux, les chiffres suivants :

Chaudières multitubulaires	76
Chaudières à grand volume d'eau	18
Total	<u>94</u>

Les générateurs construits et présentés par les Sociétés françaises, se décomposent de la façon suivante :

Chaudières multitubulaires	62
Chaudières à grand volume d'eau	4
Total	<u>66</u>

La même décomposition donne pour les générateurs étrangers :

Chaudières multitubulaires	14
Chaudières à grand volume d'eau	14
Total	<u>28</u>

En 1889, la France semblait avoir pris la tête du mouvement pour la vulgarisation des générateurs à petits éléments ; mais la participation assez faible des puissances étrangères à l'Exposition n'avait pas permis de conclure formellement.

Il n'en est pas de même aujourd'hui et les chiffres précédents sont assez éloquents pour que nous nous dispensions de tout commentaire à ce sujet.

Les causes en sont d'ailleurs connues. À l'influence exercée par les marines militaires et marchandes sur cet état de choses, il faut ajouter le développement de l'industrie électrique, dont les deux facteurs principaux, éclairage et transport de force motrice, prenaient une importance considérable et nécessitaient la création de nombreuses stations centrales, avec des groupes électrogènes d'une puissance nominale de plus en plus grande.

Il en est résulté, pour les constructeurs de machines, l'obligation d'avoir recours à des pressions de vapeur de plus en plus élevées. Dans ces conditions, l'emploi des générateurs multitubulaires s'imposait ; les constructeurs de chaudières l'ont compris, ils se sont ingénier à perfectionner leur outillage pour donner satisfaction aux nouvelles exigences ; ils ont combiné des appareils garantissant un fonctionnement plus économique et présentant une sécurité plus grande que les anciens.

En vérité, pratiquement, il n'a survécu aucun type absolument nouveau. Mais les modèles primitifs ont subi d'importantes modifications ; des combinaisons spéciales ont été adoptées pour activer la circulation de l'eau dans les tubes, pour augmenter la vaporisation par mètre carré de surface de chauffe et pour assurer la production de vapeur sèche. Dans la construction, l'acier doux a presque exclusivement remplacé la fonte et une diminution sensible des accidents a pu être constatée.

Aujourd'hui, les déchirures de tubes ne sont plus dangereuses, les fermetures autoclaves réduisent au minimum les effets désastreux des projections de tampons et le personnel des chaufferies est assuré d'une sécurité appréciable.

Les constructeurs étrangers ont suivi l'impulsion qui a été donnée en France ; leurs chaudières à petits éléments dérivent de types français et les perfectionnements qu'ils ont apportés dans les détails se confondent avec ceux de leurs précurseurs.

Les chaudières à grand volume d'eau ne pouvaient guère lutter avec les précédentes au point de vue particulier de la production de la vapeur à haute tension. Aussi le type fondamental, la chaudière à deux bouilleurs avec foyer extérieur n'était-il représenté à l'Exposition que sous la forme perfectionnée des générateurs semi-tubulaires. On conçoit quelles difficultés les constructeurs de ces chaudières ont à vaincre pour obtenir des appareils capables de produire, en marche normale, la vapeur à 11 ou 12 kg. de pression. L'augmentation d'épaisseur du métal donne lieu, en effet, à des travaux de chaudronnerie exigeant des ouvriers fort habiles et occasionnant des dépenses excessives.

A l'étranger cependant, les chaudières à grand volume d'eau avec foyer intérieur, genre Cornwall, ont été conservées et sont encore utilisées pour les hautes pressions, grâce à l'adjonction de corps tubulaires qui augmentent considérablement la surface de chauffe. Les sections russe et allemande renfermaient, à cet égard, quelques appareils intéressants, comportant des pièces de forge remarquables et formant un type à grand volume, réellement nouveau. Néanmoins, dans les mêmes sections, les générateurs à petits éléments figuraient en nombre à peu près égal et la comparaison qui s'imposait ne semblait pas tourner en faveur de leurs puissants voisins.

Les dispositions adoptées par le service des installations mécaniques de l'Exposition pour la production de la vapeur, constituaient deux grandes usines où des collecteurs communs à toutes les chaudières recueillaient la vapeur produite par chacune d'elles, de sorte qu'aucune expérience comparative ne pouvait être faite. Les résultats d'essais que nous avons placés à dessein au cours de cet ouvrage permettront, dans une certaine mesure, de combler cette lacune, quoique les conditions mêmes des essais soient différentes dans chaque cas.

Nous avons parlé, dans le chapitre VI, de l'emploi de la vapeur surchauffée, qui tend à se développer beaucoup à l'étranger, et du rôle important que les surchauffeurs seront appelés à jouer au cours de cette nouvelle application. Nous ajouterons que les nombreux appareils accessoires des générateurs, et en particulier les économiseurs et les réchauffeurs, commencent à attirer l'attention des industriels soucieux d'obtenir la vapeur dans de meilleures conditions économiques. La facilité d'adapter ces appareils spéciaux aux chaudières qui n'en sont pas munies, permettra d'en multiplier les essais et d'en généraliser l'emploi.

Les épurateurs d'eau d'alimentation ont été perfectionnés très habilement ; les réchauffeurs-détartrateurs, plus simples et d'une installation moins coûteuse que les épurateurs proprement dits, ont une tendance à se vulgariser dans les usines de production moyenne.

Les foyers enfin ont permis aux inventeurs de montrer plusieurs dispositifs capables d'assurer la fumivoreté à peu près complète. Cette question, si importante pour l'hygiène des grandes villes, a fait en 1894 l'objet d'un concours spécial de la Ville de Paris ; des combinaisons ingénieuses furent présentées et essayées en 1895 et 1896 ; mais leurs applications n'ont pas été très nombreuses et la question de la fumivoreté obligatoire pour les foyers d'usines, au voisinage des villes, semble être réservée à nouveau.

RÉCAPITULATION

Nous avons examiné, dans les différents chapitres de cet ouvrage, la plupart des chaudières et des appareils accessoires qui figuraient à l'Exposition, ainsi que l'ensemble des travaux exécutés par le Service des Installations mécaniques pour assurer la marche régulière des générateurs de vapeur, aux usines Suifren et La Bourdonnais, et le bon fonctionnement des groupes électrogènes de la force motrice ou des machines diverses simplement exposées dans les palais du Champ-de-Mars.

Il existe cependant de nombreuses lacunes dans ce travail, que nous avons dû limiter aux appareils qui nous ont semblé plus particulièrement nouveaux et intéressants ; mais l'examen de tous les produits industriels se rattachant aux questions de production et de distribution de la vapeur, nous aurait entraîné beaucoup trop loin.

Nous réunissons ci-dessous, par spécialités, les noms des exposants de la classe 19, avec le résumé des principaux objets qu'ils ont présentés. On trouvera, dans cette récapitulation, une indication sur le nombre et l'importance des appareils, en même temps que certains renseignements, souvent utiles, sur la nature des produits fabriqués par les constructeurs.

1^e Chaudières en fonctionnement.

Usine La Bourdonnais (Section française)

MM.

Biétrix, Lefflaive, Nicolet et Cie, à Saint-Etienne : 1 générateur multitungulaire.

Compagnie française Babcock et Wilcox, à Paris : 8 générateurs multitungulaires.

Crépelle-Fontaine, constructeur, à La Madeleine-lez-Lille : 1 générateur multitungulaire.

Compagnie de Fives-Lille, à Paris : 3 générateurs semi-tungulaires.

J. et A. Niclausse, constructeurs à Paris : 12 générateurs multitungulaires.

Montupet, constructeur à Paris : 3 chaudières multitungulaires et 1 semi-tungulaire.

Roser, constructeur à Saint-Denis : 6 générateurs multitubulaires.
 Solignac et Grille, à Paris : 1 générateur multitubulaire.
 Société de Naeyer et C^e, à Prouvy-Thiant (Nord) : 6 générateurs multitubulaires.
 Société des générateurs Mathot, à Rœux-lez-Arras (Pas-de-Calais) : 4 générateurs multitubulaires.

Usine Suffren (Sections étrangères)

MM.

Berninghaus Ewald, à Duisbourg (Allemagne) : 3 générateurs type Cornwall.
 Paucksch, à Landsberg-sur-la-Warthe (Allemagne) : 1 générateur type Cornwall.
 Petry-Dereux, à Düren (Allemagne) : 1 générateur multitubulaire.
 Petzold et C^e, à Inowrazlaw (Allemagne) : 1 générateur type Cornwall.
 Simonis et Lanz, à Berlin (Allemagne) : 1 générateur multitubulaire.
 L. et C. Steinmüller, à Gummersbach (Allemagne) : 3 générateurs multitubulaires.
 Galloway's, à Manchester (Angleterre) : 6 générateurs Galloway's.
 Fitzner et Gamper, à Sosnowice (Russie) : 1 générateur multitubulaire.
 Société de Naeyer et C^e, à Villebroek (Belgique) : 4 générateurs multitubulaires.
 Compagnie Babcock et Wilcox : 4 générateurs multitubulaires.
 Société Mathot : 3 générateurs multitubulaires.
 J. et A. Niclausse : 9 générateurs multitubulaires.

Vincennes (Annexe de).

MM.

Morrin Climax Boiler Cy L^a (Etats-Unis) : 2 générateurs multitubulaires.

2^e Chaudières à l'état inerte.

MM.

Etablissements Piedbœuf, à Jupille (Belgique) : 1 générateur type Cornwall.
 Fitzner et Gamper, à Sosnowice (Russie) : 1 générateur multitubulaire.
 Aubert (Alexandre), à Paris : chaudières.
 Berendorf fils, à Paris : machines demi-fixes à retour de flammes par tubes mobiles.

- Blanchet, à Paris : modèle métallique de générateur de vapeur à tubes d'eau.
- Chabache, à Paris : chaudières à vaporisation instantanée.
- Delaunay-Belleville et Cie, à Saint-Denis : générateurs système Belleville, types fixe et transportable.
- Delpoutte, à Saint-Nazaire : chaudière à vapeur.
- Farcot, à Saint-Ouen : plan d'installation de générateurs munis ou non d'émulseurs Dubiau.
- Fortin, à Raismes (Nord) : 1 générateur tubulaire vertical.
- Girard, à Paris : générateurs à vapeur de différents systèmes.
- Grenthe, à Paris : chaudière à circulation d'eau et à séchage de vapeur.
- Joya, à Grenoble : chaudière à vapeur multitubulaire.
- La Brosse (de) et Fouché, à Nantes : chaudière à vapeur.
- Martin, à Sotteville-les-Rouen : dessin de générateur.
- Mathian, à Paris : chaudière verticale.
- Meunier et Cie, à Fives-Lille : 6 générateurs semi-tubulaires, à foyer intérieur, verticaux, etc.
- Société des Chaudronneries du Nord de la France, à Lesquin-lez-Lille : générateur multitubulaire en X.
- Société Du Temple, à Paris : chaudières multitubulaires systèmes « Du Temple » et « Du Temple-Guyot ».
- Vanparys, au Havre : chaudière à tubes d'eau.
- Société française de Constructions mécaniques, à Paris : 1 générateur à circulation d'eau.

3^e Réchauffeurs, Surchauffeurs et Economiseurs.

MM.

- Galloway's, à Manchester (Angleterre) : 1 économiseur Green.
- Hering, à Nuremberg (Allemagne) : 2 surchauffeurs en fonctionnement et 1 à l'état inerte.
- Petry-Dereux, à Düren (Allemagne) : 1 surchauffeur.
- Steinmüller, à Gummersbach (Allemagne) : 1 surchauffeur.
- Schwoerer, à Colmar (Alsace) : 1 surchauffeur.
- Carpentier, à Paris : 1 réchauffeur.
- Lemoine, à Hallines par Wizernes (Pas-de-Calais) : 1 économiseur réchauffeur d'eau d'alimentation.

4^e Foyers et Grilles.**MM.**

- Chagot et Cie, à Montceau-les-Mines : 1 modèle de foyer Meldrum à tirage forcé.
- Compagnie Générale des Appareils économiques, à Paris : doubles grilles « Noël » pour foyers : appareils économiques pour boîtes à fumée.
- Crèceveur, à Mantes : foyer fumivore à chargement mécanique, grilles mobiles, barreaux à double lumière.
- Donders, à Nancy : foyer et grille brevetés.
- Poillon, à Amiens : grille à lames de persiennes.
- Prat, à Paris : tirage mécanique des foyers par transformation de pression.
- Société Générale de fumivorité, à Paris : foyers fumivores, système Hinstin ; modèles et dessins.
- Wagner, à Paris : grilles brevetées à pyramides, à crêneaux, à losanges, etc.; foyer fumivore à chargement continu.

5^e Epuration des Eaux d'alimentation.**MM.**

- Barbier, à Paris : 1 épurateur.
- Buron, à Paris : épurateurs.
- Chevalet, à Troyes : 1 réchauffeur-détartreur à chaque usine Suffren et La Bourdonnais.
- Dervaux, à Bruxelles : épurateurs.
- Howatson et Cie, à Neuilly-sur-Seine : épurateurs à préparation manuelle de réactif et à préparation automatique ; détartreur.
- Mazeran et Sabron, à Paris : épurateur économiseur d'eau d'alimentation.
- Philippe, à Paris : décanteurs-épurateurs.
- Société l'Epuration des Eaux, à Paris : 1 groupe d'épurateurs, système Desrumaux, à chacune des usines Suffren et La Bourdonnais : 1 épurateur en fonctionnement à l'usine de la Cunette ; épurateurs à l'état inerte.
- Société de la Madeleine, à Lille : 1 épurateur.
- Société du filtre Mainguen, à Paris : épurateurs et filtres.

6^e Désincrustants, Tartrifuges et Produits d'épuration divers.

MM.

Bidon, à Paris : tartrifuge.

Egrot, à Suresnes : différents correctifs pour les eaux industrielles ; appareil pour introduire les tartrifuges pendant la marche.

Jacob, à Doulon, près Nantes : anti-tartre désincrustant.

Lecourt, à Paris : désincrustants pour chaudières.

Lemaire (Didier), à Pont-sur-Sambre (Nord) : appareil à désincruster les tubes.

Leroy fils, à Levallois-Perret : tartrifuge pour chaudières ; réchauffeur-détartrage et produits divers.

Moireau, à Paris : Appareil pour détartrer les tubes.

Regnier, à Paris : Tartrifuge, garnitures et accessoires.

Société du Sélénifuge, à Paris : Epuration des eaux d'alimentation.

Sustandal, à Paris : la « Niveline », produit pour désincrustation.

7^e Accessoires des chaudières

Soupapes, Robinets, Injecteurs, Compteurs d'eau, etc.

Boehler, à Paris : Injecteurs, éjecteurs, pompes, etc.

Borel, à Paris : Injecteurs et appareils divers à jet de vapeur.

Compagnie de fabrication des Compteurs et du matériel des usines, à Paris : compteurs d'eau à piston-disque métallique.

D'Espine, Achard et C^{ie}, à Paris : Compteurs d'eau d'alimentation, système Schmid.

Grouvelle et Arquembourg, à Paris : Robinetterie pour vapeur. Joints, Purgeurs automatiques, Régulateurs de pression, etc.

Guyot, à Montreuil-sous-Bois : Robinetterie bronze. Niveaux d'eau de sûreté et accessoires.

Martel et Bousselet, à Paris : Robinetterie pour chaudières.

Mocomble (Cavalier de) à Paris : Injecteurs-alimentateurs de chaudières.

Müller et Roger, à Paris : Robinetterie générale pour eau et vapeur. Appareils de sécurité et de contrôle pour chaudières.

Pile, à Paris : Robinets, clapets d'arrêt, soupapes de sûreté.

Risacher et Hébert, à Paris : Appareils indicateurs de niveau d'eau, soupapes de sûreté, etc.

Samain et C^{ie}, à Paris : Compteurs d'eau d'alimentation.

Société du verre étiré, à Paris : Tubes pour indicateurs de niveau d'eau.
Wargny et Grimonprez, à Lille : Robinetterie pour chaudières.

**8^e Calorifuges, joints, graissage et entretien
des organes de chaudières.**

Astorgis, à Paris : Brosses métalliques; appareils extensibles.
Beffa (V^e Alexandre), à Paris : Brosses à tubes de chaudières. Brosses à main.
Boileau (V^e A.), à Paris : Mastic calorifuge. Joints. Enduits métalliques. Paratarbre.
Denniel et C^{ie}, à Paris : Revêtement de tuyauteries. Briques et carreaux en liège aggloméré.
Fleury-Legrand, à Lille : Mastic calorifuge.
Hamelle, à Paris : Calorifuges, garnitures, joints et appareils de graissage.
Hauchard, à Paris : filtre à vapeur et à pression pour épuration des huiles de graissage.
Henry, à Paris : Appareils de graissage et mastics.
Léon fils à Camps (Var) : Feutre isolant calorifuge.
La Burthe, à Saint-Mandé : Enduits calorifuges.
Mauponné, à Paris : Calorifuge.
Mazillier et Jobard à Dijon : Joints en amiante et tissus compressibles.
Müller et C^{ie}, à Ivry : Calorifuge dit « Coton minéral » à l'état brut et manufacturé.
Prunier, à Paris : Ecouvillons et raclettes pour le nettoyage des tubes.
Société générale des huiles et fournitures industrielles, à Paris : Huiles, graisses, filtres, appareils divers.

9^e Fumisterie industrielle.

Maçonnerie de chaudières, de carreaux, cheminées, etc.

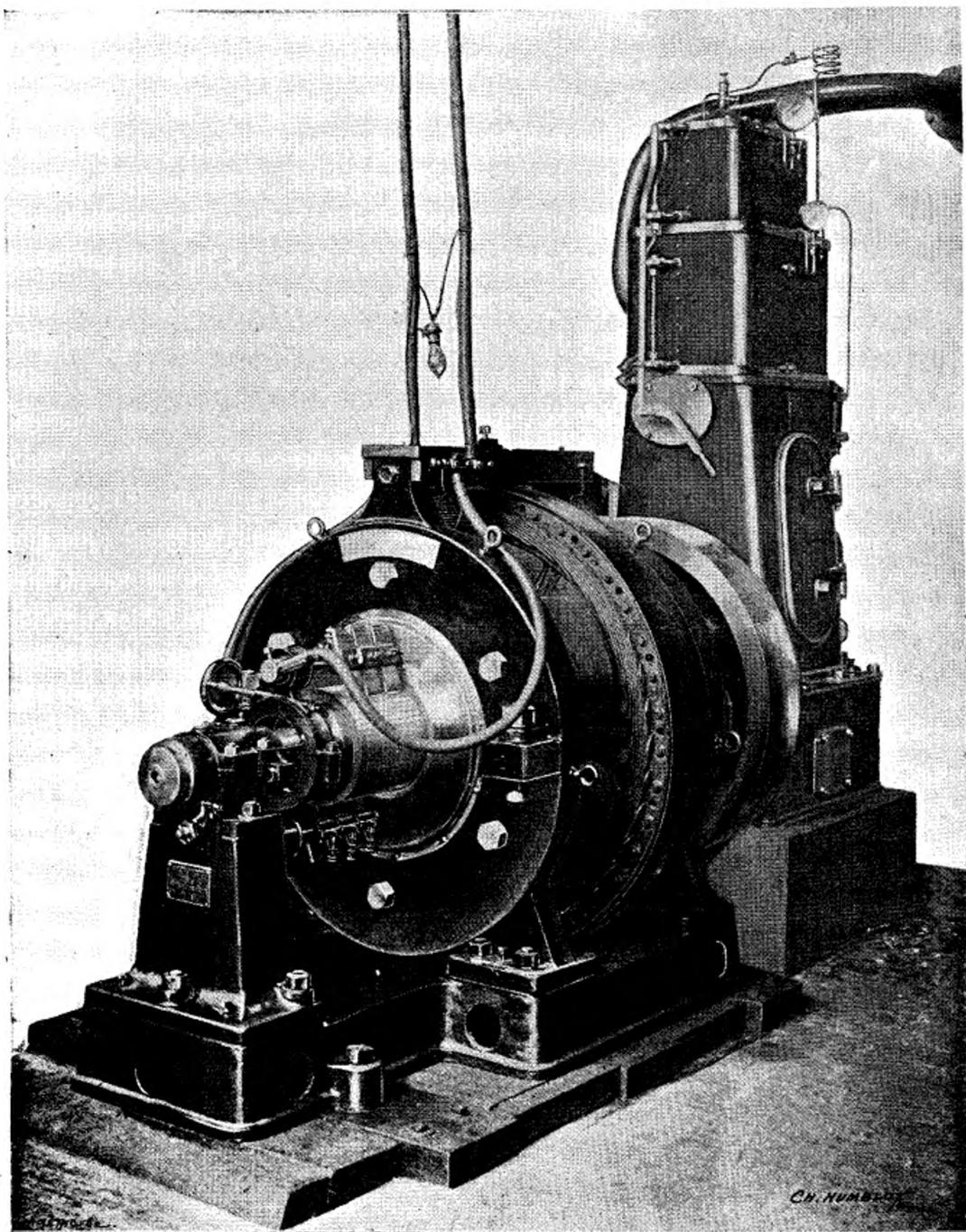
Cordier, à Paris : Modèles réduits de cheminées d'usines, fourneaux de chaudière, foyers économiques, et fumivores, grilles, etc.
Nicou et Demarigny, à Paris : Cheminée monumentale de l'usine La Bourdonnais, maçonnerie et fourneaux de chaudières. Carreaux de fumée des usines Suffren et La Bourdonnais.
Toisoul, Fradet et C^{ie}, à Paris : Cheminée monumentale de l'usine Suffren. Maçonnerie et fourneaux de générateurs.

MACHINES BELLEVILLE A GRANDE VITESSE

avec graissage continu, à haute pression
par pompe oscillante sans clapets

Brevet d'Invention S. G. D. G. du 14 Janvier 1897

Saint-Denis-sur-Seine

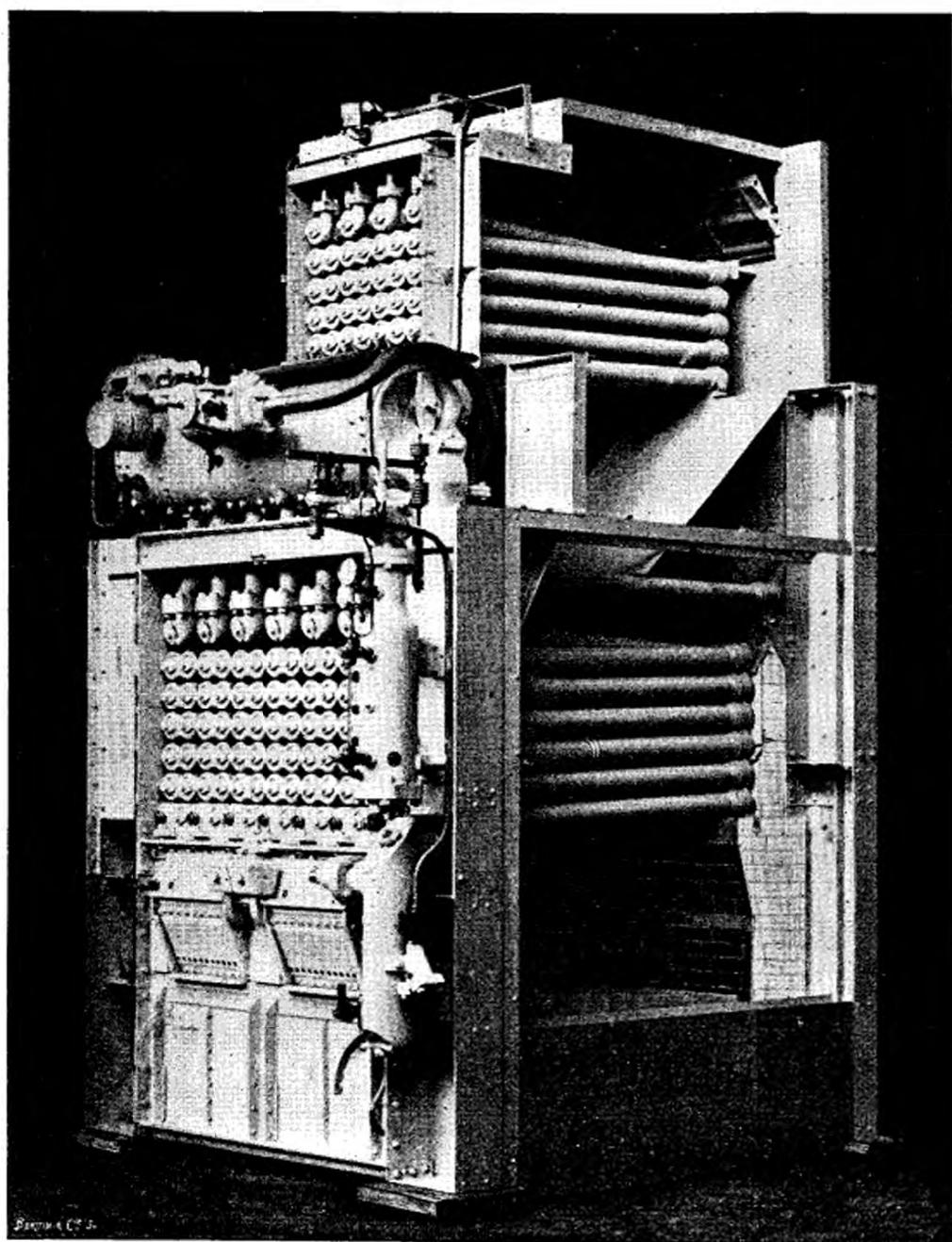


MACHINE COMPOUND TANDEM

De 75 Chevaux à 360 Tours

GÉNÉRATEURS BELLEVILLE. — GRAND PRIX 1889

Saint-Denis-sur-Seine



TYPE FIXE MODÈLE 1896

muni d'économiseur-réchauffeur d'eau d'alimentation

PIUSSANCE DE VAPORISATION : 1.175 KILOS A L'HEURE