

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 - http://cnum.cnam.fr](http://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)

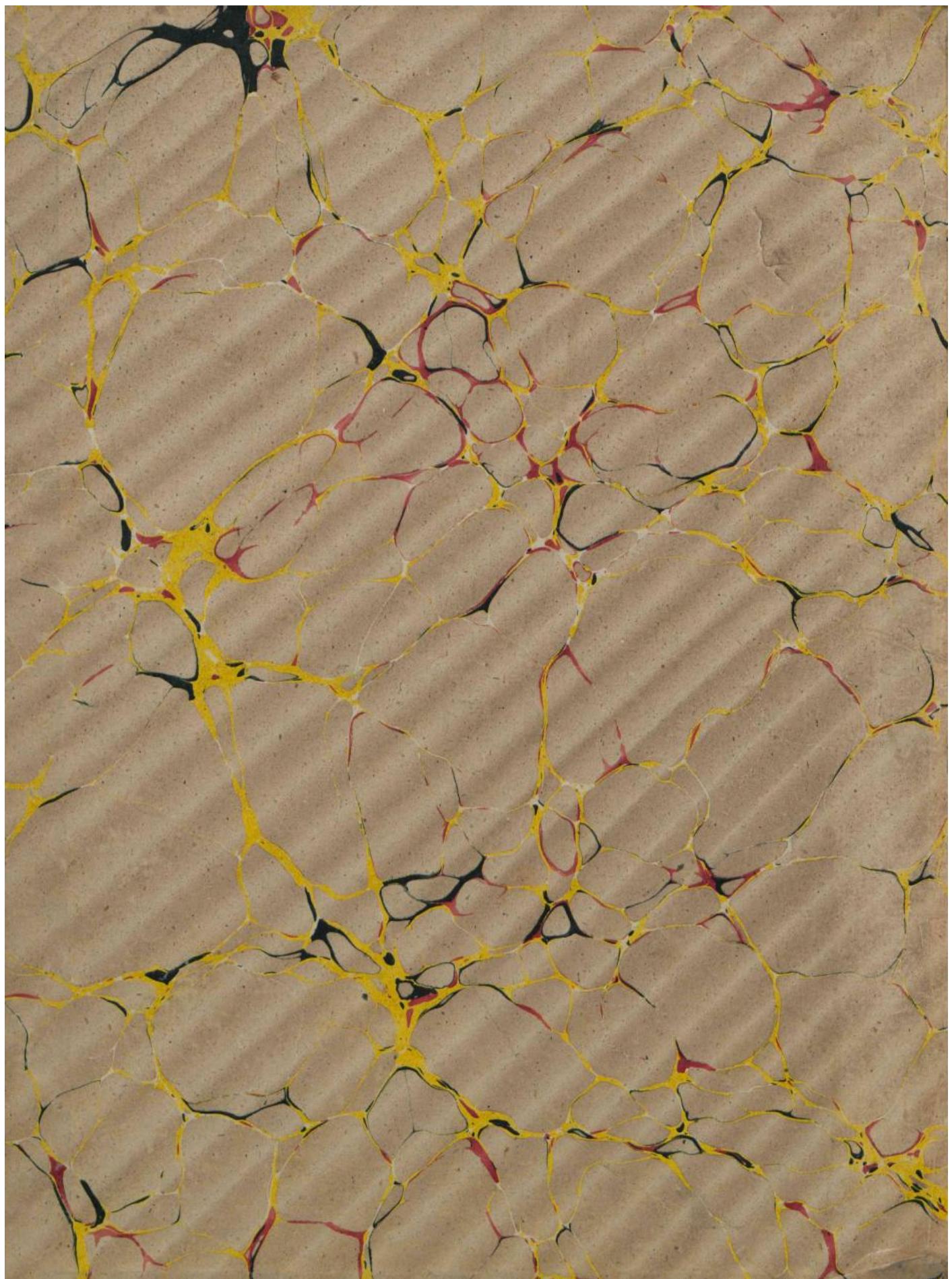
5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

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.

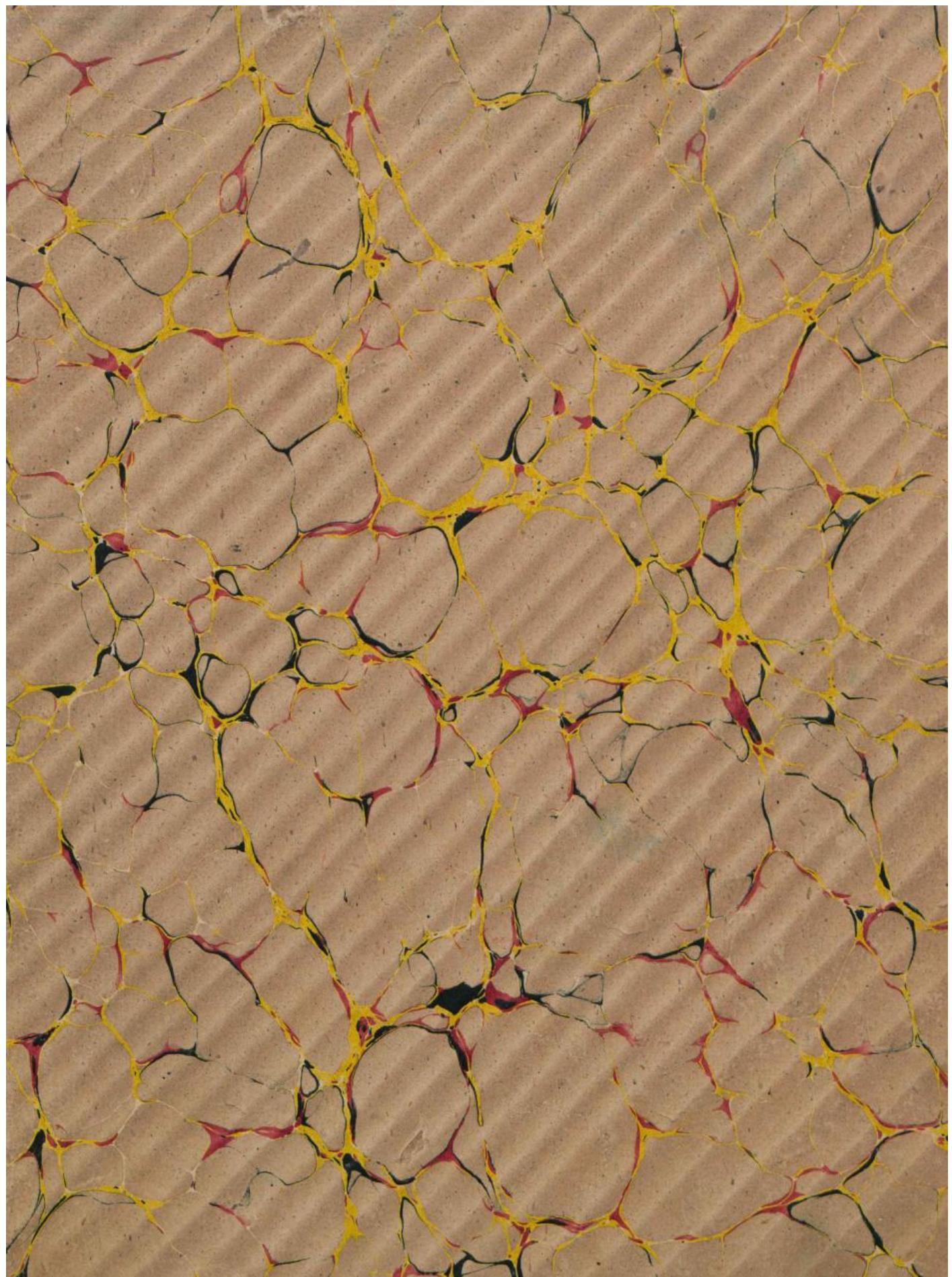
NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Desnos, E.
Auteur(s)	Desnos, E.
Titre	Les nouvelles chaudières à vapeur, notamment celles qui ont figuré à l'Exposition universelle de 1878, description et étude générale des principaux types de générateurs fixes ou locomobiles construits le plus récemment de leurs accessoires, (indicateurs divers, appareils de sûreté, conduites, etc.), et des constructions annexes, (fourneaux, cheminées, abris, appareils fumivores, récupérateurs, etc.), principes de construction, résultats d'expériences
Nombre de volumes	2
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?4DE53_FOLDE9
Adresse	Paris : E. Bernard et cie libraires-éditeurs, 1881
Collation	1 vol. (XV-151 p.) ; 27 cm + 1 atlas (30 pl.) ; 41 cm
Cote	CNAM-BIB 4 De 53 et CNAM-BIB Fol De 9
Sujet(s)	Machines à vapeur -- 19e siècle Machines à vapeur -- Appareils et matériel -- 19e siècle

NOTICE DU VOLUME	
Auteur(s) volume	Desnos, E.
Titre	Les nouvelles chaudières à vapeur, notamment celles qui ont figuré à l'Exposition universelle de 1878, description et étude générale des principaux types de générateurs fixes ou locomobiles construits le plus récemment de leurs accessoires, (indicateurs divers, appareils de sûreté, conduites, etc.), et des constructions annexes, (fourneaux, cheminées, abris, appareils fumivores, récupérateurs, etc.), principes de construction, résultats d'expériences
Volume	[Texte]
Adresse	Paris : E. Bernard et cie libraires-éditeurs, 1881
Collation	1 vol. (XV-151 p.) ; 27 cm
Nombre d'images	178
Cote	CNAM-BIB 4 De 53
Sujet(s)	Machines à vapeur -- 19e siècle Machines à vapeur -- Appareils et matériel -- 19e siècle
Thématique(s)	Expositions universelles Machines & instrumentation scientifique
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	21/12/2017
Date de génération du PDF	27/01/2021
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?4DE53



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

Exte 4° D. 13
atlas 1° D. 9

LES NOUVELLES

CHAUDIÈRES A VAPEUR



Paris.— Société d'Imprimerie Paul Dupont, rue Jean-Jacques-Rousseau, 42. (Cl.) 303.6.81.

A. Desnos

LES NOUVELLES
CHAUDIÈRES A. VAPEUR
NOTAMMENT CELLES QUI ONT FIGURÉ
A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

DESCRIPTION ET ÉTUDE GÉNÉRALE DES PRINCIPAUX TYPES DE GÉNÉRATEURS

FIXES OU LOCOMOBILES CONSTRUISUS LE PLUS RÉCEMMENT

DE LEURS ACCESSOIRES

(Indicateurs divers, appareils de sûreté, conduites, etc.)

ET DES CONSTRUCTIONS ANNEXES

(Fourneaux, Cheminées, Abris, Appareils fumivores, Récupérateurs, etc.)

PRINCIPES DE CONSTRUCTION, RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES

PAR MM.

C. BERETTA, Ingénieur civil,
Ancien élève de l'École des Mines.

E. DESNOS,
Ingénieur civil

Attachés au Service des Machines de l'Exposition Universelle.



PARIS

E. BERNARD ET C^{ie}, LIBRAIRES-ÉDITEURS

4 RUE THORIGNY, 4

1881

CNAM. BIBLIOTHÈQUE CENTRALE



1 7501 00211678 6



TABLE

PRÉFACE	V
LES GÉNÉRATEURS A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878	XI

I. — GÉNÉRATEURS FIXES.

CHAUDIÈRES DE MM. CHEVALIER-GRENIER ET L. DROUX, A LYON (RHÔNE)	1
Générateurs à foyers intérieurs et à bouilleurs verticaux	2
Id. Id. et à réchauffeurs	10
CHAUDIÈRE A BOUILLEURS ET A RÉCHAUFFEURS DE M. E. BOYER, A LILLE (NORD)	16
Dispositif fumivore de MM. F. CORDIER et fils. — <i>Chauffage préalable de l'air</i>	20
GÉNÉRATEUR DE MM. BELLEVILLE ET C ^{ie} A SAINT-DENIS (SEINE) (SYSTÈME INEXPLOSIBLE)	24
Modèle 1877 — <i>Régulateurs d'alimentation et de pression, grille, etc.</i>	26
GÉNÉRATEUR A FOYER ET FAISCEAU TUBULAIRE AMOVIBLES, DE LA SOCIÉTÉ CENTRALE DE CONSTRUCTION DE MACHINES, A PANTIN (SEINE)	36
GÉNÉRATEUR TUBULAIRE A FOYER RECTANGULAIRE, DE LA C ^{ie} DE FIVES-LILLE (NORD)	43
GÉNÉRATEURS A FOYERS INTÉRIEURS ET TUBES BOUILLEURS CONIQUES DE MM. W. ET J. GALLOWAY ET FILS, A MANCHESTER (ANGLETERRE)	48
GÉNÉRATEUR TUBULAIRE ET A TUBES FIELD, DE MM. SÉRAPHIN FRÈRES, A PARIS	52
GÉNÉRATEUR SEMI-TUBULAIRE DE M. L. FONTAINE, A LA MADELEINE-LEZ-LILLE (NORD)	56
GÉNÉRATEURS SEMI-TUBULAIRES DE M. L. LE BRUN, A CREIL (OISE) ET DE MM. MEUNIER ET C ^{ie} A FIVES-LILLE (NORD)	58
GÉNÉRATEUR TUBULAIRE A FOYER TEN-BRINK ET A RÉCHAUFFEUR MULTITUBULAIRE DE MM. SULZER FRÈRES, A WINTERTHUR (SUISSE)	62
GÉNÉRATEUR A BOUILLEURS-RÉCHAUFFEURS ET A FOYER TEN-BRINK, DE MM. ESCHER, WYSS ET C ^{ie} A ZURICH (SUISSE)	68
GÉNÉRATEURS A TUBES BOUILLEURS (GROUPE BELGE)	72
Générateur de M. JOHN MAC NICOL, à Seraing	73
Id. de MM. de NEYER et C ^{ie} à Willebroeck (<i>système inexplosible</i>)	76
Id. de MM. J. BARBE, J. PETRY et C ^{ie} à Molenbeek-Bruxelles	79
GÉNÉRATEUR VERTICAL A TUBES COLLECTEURS, DE M. L. DULAC, A PARIS. — <i>Épuration méthodique de l'eau</i>	83
GÉNÉRATEUR A FOYER ET FAISCEAU TUBULAIRE AMOVIBLES, DE M. J. FARCOL, A SAINT-OUEN (SEINE)	91
GÉNÉRATEURS DIVERS, A FOYER EXTÉRIEUR	96
Générateur à bouilleurs-réchauffeurs de M. JOACHIM, à Paris	96
Id. à bouilleurs verticaux de M. CADIAT, à Toulon (Var)	98
Id. système inexplosible, à réchauffeur, de M. J. SCHMIDT, à Gleiwitz (Allemagne)	101

II. — GÉNÉRATEURS MI-FIXES ET LOCOMOBILES.

GÉNÉRATEURS A FOYER INTÉRIEUR HORIZONTAL (<i>type Chevalier-Grenier, Demenge, etc.</i>)	105
Générateur à tubes bouilleurs verticaux, de MM. FOUCHE et de LAHARPE, à Paris	106
CHAUDIÈRES POUR EMBARCATIONS	108
Générateur PENELLE	109
Id. DUCHESNE	110
GÉNÉRATEURS INEXPLOSIBLES	111
Système BELLEVILLE	111

Générateur de M. E.-A. BOURRY, à Paris	112
Id. de MM. COLLET et C ^e , à Paris	114
CHAUDIÈRES VERTICALES	115
Générateur de MM. COCHRANE et C ^e , à Birkenhead (Angleterre). — Générateur C. Deruyer, à Lille	116
Générateur Polinard, de MM. CARNAIRE et MONTELLIER, à Saint-Chamond (Loire) — Générateurs Baxter (États-Unis) et Basiliades (Grèce)	116
Générateur de MM. LELEU et CLAVIER, à Paris	117
Générateur de M. COLOMBIER, à Lyon (Rhône) — Générateur de M. Roser, à Saint-Denis	118
Générateur de M. L. MONNIER, à Paris	119

III. — ACCESSOIRES DE CHAUDIÈRES.

INDICATEURS DE NIVEAU	121
Indicateur magnétique de MM. LETHUILLIER et PINEL, à Rouen (Seine-Inférieure)	121
Id. de M. H. PAUCKSCH, à Landsberg-a-W. (Allemagne)	123
Id. métallique de M. CHAUDRÉ, à Paris	123
Id. de M. P. DUPUCH, à Paris	124
Tubes de niveau — tube Dupuch — tube Daniel	125
RÉGULATEURS AUTOMATIQUES D'ALIMENTATION	126
Régulateur de MM. LETHUILLIER et PINEL, à Rouen (Seine-Inférieure)	127
Id. de M. V. CLEUET, à Paris	127
APPAREILS D'ALIMENTATION. — Injecteur Vabe, injecteur Friedmann	129
Alimenteur de M. Y. COHNFELD, à Dresde (Allemagne)	130
SOUPAPES DE SURETÉ	131
Soupape de M. A. MONTUPET, à Paris	131
Id. de MM. MAUREL TRUEL et C ^e , à Marseille (Bouches-du-Rhône)	13
Id. à poids direct de M. EAVE, à Londres (Angleterre)	133
MANOMÈTRES	134
Manomètre-enregistreur de M. E. BOURDON, à Paris	134
Manomètre de M. DUOCMET, à Paris	134
ACCESSOIRES DES CONDUITES DE VAPEUR	135
Robinets. — Robinets Dewrance et Malisson, Dupuch, Chatel	135
Joints. — Joint compensateur Chevalier-Grenier — tuyauterie de MM. BELLEVILLE et C ^e — joint Taverdon	136
Purgeurs automatiques — Systèmes Vaughan et Stubbs, Peyer, Legat, Geneste-Herscher	137
Enveloppes non-conductrices	138

IV. — CONSTRUCTIONS ANNEXES.

FOYERS	139
Portes — Porte Howatson (admission d'air) — porte Thauvoye et Dernoncourt, porte Poindrou (reliées au registre)	140
Grilles (Grilles Dobson, H. Smith, etc. Tisonnier Wackernie)	141
RÉCHAUFFEURS. — Système Bütner, etc	143
CHEMINÉES	144
Cheminée en tôle de la C ^e de Fives-Lille (Nord)	144
Cheminées en briques (de MM. Cordier, Joachim, etc.)	146
ABRIS	148
ALTÉRATIONS DES GÉNÉRATEURS	149

PRÉFACE

L'empressement avec lequel a été accueillie la publication des *Nouvelles machines* (1), nous encourage à faire paraître un travail analogue sur les chaudières, dont l'étude est inséparable de celle des moteurs à vapeur, et ne lui cède ni en importance ni en variété.

La vapeur est jusqu'à présent l'intermédiaire le plus commode et le moins coûteux pour transporter la chaleur d'un foyer, et l'utiliser (comme telle, ou transformée en travail) exactement aux points voulus et dans les proportions convenables. Il n'est guère aujourd'hui d'industrie qui ne l'applique, soit à la mise en mouvement des machines, soit au chauffage ou à diverses élaborations.

Que son emploi et surtout sa génération n'aient pas toujours lieu dans les meilleures conditions d'économie ni même de sécurité, cela est malheureusement hors de doute. Il semblerait que tout propriétaire d'appareils à vapeur dût se préoccuper, au moins autant que pour n'importe quelle partie de son outillage, du bon état de ses chaudières, de l'habileté et de la vigilance des ouvriers à qui elles sont confiées. Mais il résulte au contraire de toutes les statistiques, que la grande majorité, on peut dire la presque totalité des explosions, auraient pu être prévenues par un meilleur entretien et un peu plus de surveillance.

Comment s'expliquer un fait aussi général, à moins d'admettre qu'il existe contre la chaudière un de ces préjugés dont l'absurdité éclate dès qu'on les formule, mais qui sont d'autant plus difficiles à combattre qu'ils restent plus vagues, indécis, saisissables seulement par leurs effets. Que, dans le public, la formation de la vapeur paraisse une opération toute simple, et comme secondaire à côté du phénomène de la production de travail, rien n'est plus naturel; et l'on conçoit qu'une machine, avec ses mouvements puissants et précis, ses organes ingénieusement combinés, parle davantage à l'imagination qu'une chaudière massive et en quelque sorte passive, de construction relativement grossière, sujette à mille avaries souvent inaccessibles, et généralement couverte d'érosions sur toutes ses faces et coutures. Certains industriels s'en tiendraient-ils à une comparaison aussi superficielle entre l'appareil récepteur et celui où la force motrice s'engendre et s'emma-gasine? Ce dernier ne leur semblerait-il qu'un encombrant accessoire, indispensable sans doute, mais peu intéressant et fatallement condamné à un fonctionnement très imparfait? On est porté à le croire lorsqu'on voit tant de moteurs très soignés, perfectionnés parfois dans les moindres détails, en vue d'une économie de quelques centièmes, et qui sont alimentés par des chaudières donnant lieu à des pertes acceptées de trente et quarante pour cent.

Le malheur est qu'un défaut d'intérêt entraîne infailliblement un défaut d'attention et de contrôle; la seule menace d'un accident ne suffit pas, en effet, à provoquer la surveillance; on s'accoutume vite à un péril que l'événement tarde à vérifier. Ainsi, l'état d'une chaudière mal entretenue, mal conduite, tantôt surmenée, tantôt brusquement refroidie, va s'aggravant de jour en jour, jusqu'au moment où son importance méconnue se manifeste par un désastre.

(1) *Les Nouvelles Machines à vapeur, notamment celles qui ont figuré à l'Exposition Universelle de 1878.* — Par M. W. H. Uhland, traduit et annoté par MM. C. de Laharpe, C. Beretta et E. Desnos. — Paris. E. Bernard et C^{ie}.

Ce manque d'intérêt pour le générateur tend certainement à disparaître, à mesure que se répandent les ouvrages techniques, que les industries en se développant améliorent leur personnel, à mesure aussi que les Associations de surveillance étendent leur action (1); mais les habitudes de négligence qu'il favorise sont plus difficiles à déraciner. On peut s'en convaincre en parcourant les longues listes de défauts dangereux rencontrés même dans les chaudières dont les propriétaires ont adhéré aux Associations, ce qui implique déjà un certain souci de la surveillance (corrosions, fuites, coups de feu, vices de construction, réparations défectueuses, indicateurs inexacts, accessoires hors de service, etc., sans parler des défauts qui ne font qu'abaisser le rendement).

Qu'on nous pardonne d'insister sur un préjugé, dont l'existence peut paraître invraisemblable, mais dont les effets se chiffrent chaque année par des millions de tonnes de combustible gaspillé et des centaines de vies sacrifiées. En fait, les plus compétents n'ont peut-être pas toujours échappé à son obscure influence. Aux dernières expositions, une part de plus en plus grande a été faite aux constructeurs de chaudières dans la distribution des récompenses; les progrès accomplis suffisent-ils à expliquer cette faveur croissante, ou le générateur n'a-t-il pas aussi grandi dans l'opinion des juges?

Même en dehors de cette question capitale de la sécurité, à quel point de vue une infériorité quelconque de la chaudière vis-à-vis de la machine est-elle justifiée? Les phénomènes de combustion, de transmission de la chaleur, de vaporisation, etc., sont-ils moins intéressants que les transformations ultérieures de la vapeur? L'étude des diverses causes de destruction ou d'usure n'ouvre-t-elle pas un champ assez vaste aux recherches scientifiques? D'autre part, dans l'exécution de ces pièces de forge, souvent si tourmentées, et qui devront supporter à la fois l'action directe du feu et une pression considérable, est-ce que le choix des matériaux, la confection des joints, l'emboutissage des tôles demandent moins d'expérience et d'habileté que n'en exige la construction mécanique? Enfin la détermination des formes et des dimensions d'un appareil appelé à remplir des conditions si variées de puissance, de résistance, d'emplacement, de fonctionnement et d'entretien, ne suppose-t-elle ni connaissances étendues ni esprit inventif? Il serait plus juste de dire que tout projet de moteur à vapeur est subordonné à l'étude d'un générateur satisfaisant aux sujétions imposées dans chaque cas. C'est ainsi que les carneaux intérieurs, les faisceaux tubulaires, les retours de flamme, la circulation rapide de l'eau, etc., en réduisant de plus en plus le volume et le poids des chaudières, ont rendu possible l'application de la valeur à la navigation, aux chemins de fer, aux travaux publics et agricoles, à la petite industrie; c'est ainsi que par l'amovibilité des parties les plus exposées l'emploi d'une eau incrustante devient quelquefois tolérable, que l'inexplosibilité relative de certains systèmes permet de réaliser de grandes forces à l'intérieur des ateliers, aux étages même d'une maison habitée.

En somme, si la machine à vapeur a révolutionné l'industrie et modifié les conditions économiques du monde entier, c'est surtout grâce aux perfectionnements successifs apportés à la construction des chaudières.

L'importance du générateur a été mieux reconnue à mesure que le véritable rôle de la vapeur, simple intermédiaire dans la transformation de la chaleur en travail, a été mieux compris. Certes, de tout temps on a pu constater que le travail des *opérateurs* correspondait en définitive au poids de charbon brûlé, mais cette correspondance n'apparaissait ni bien claire ni bien directe. L'effet intéressant et vraiment utile de l'application de la chaleur semblait être l'élévation de la pression. Cette manière de voir, sans être précisément inexacte, avait l'inconvénient de trop assimiler la vapeur à un liquide en charge, c'est-à-dire de ne pas appeler suffisamment l'attention sur les causes de perte autres que les fuites, coudes et étranglements. Aujourd'hui, la théorie mécanique de la chaleur mesure exactement le travail produit par le nombre de calories disparues pendant la détente de la vapeur (et elle se détend toujours, même admise à pleine pression, puisque son volume total, chaudière et conduites, s'accroît de celui que décrit le piston); or, ce nombre est proportionnel à la différence entre les températures de la vapeur au commencement et à la fin de sa détente;

(1) Pour donner une idée de l'utilité de ces Associations, on a fait remarquer qu'en Angleterre, où l'on compte annuellement une explosion par 2,000 chaudières, la *Boiler Insurance and Steam power Company*, fondée en 1859 et qui surveille aujourd'hui près de 23,000 chaudières, n'avait qu'une explosion par 7,000 appareils environ.

la première condition à remplir est donc de faire arriver cette vapeur aussi chaude que possible au cylindre. Quant à l'élévation rapide de sa pression, elle constitue en réalité un désavantage, inhérent aux propriétés de l'eau, et qui empêche, en pratique, de réaliser une haute température initiale, et de pousser très loin la détente. A côté de ces inconvénients, la vapeur d'eau présente de tels avantages, qu'il est peu probable qu'on lui substitue jamais avec succès un autre intermédiaire.

Ainsi, depuis la grille jusqu'au piston, tout se réduit à un transport de chaleur, c'est-à-dire une transmission de force vive, et, dans une installation complète, le circuit se trouve fermé par le retour à la chaudière des calories restées dans la vapeur après la détente. Toute caloric dégagée dans le foyer et qui n'est ni transformée en travail utile, ni retrouvée au condenseur, représente une perte rigoureusement appréciable, que cette caloric ait servi à vaincre une résistance nuisible, ou bien qu'elle se soit égarée sur le parcours des gaz ou de la vapeur. Le rendement final étant le produit des rendements partiels des appareils successifs, augmentera si l'on fait croître indifféremment l'un quelconque des facteurs ; mais l'augmentation sera plus marquée, pour un même accroissement absolu, s'il porte sur le facteur le plus petit. On sait que, dans l'état actuel de l'industrie, le rendement des chaudières est généralement bien inférieur à celui des moteurs correspondants (1) ; ce dernier devient du reste d'autant plus difficile à améliorer qu'il est déjà plus élevé. C'est donc du côté du générateur que l'on est en droit d'attendre dans l'avenir les perfectionnements les plus efficaces.

Plus que jamais, l'attention des ingénieurs se porte sur toutes les circonstances qui accompagnent la production de la vapeur, et le nombre des solutions proposées pour l'obtenir rapidement, économiquement et en toute sûreté, augmente sans cesse. En parcourant la présente publication, on aura une idée de la perfection relative à laquelle est aujourd'hui parvenue la construction des chaudières, et du développement qu'a pris dans ces dernières années cette branche considérable de l'industrie. Passant en revue les générateurs les plus récents de tous les systèmes, nous avons plus particulièrement étudié ceux que les meilleures maisons, françaises ou étrangères, avaient envoyés à l'Exposition pour montrer ce qu'elles pouvaient actuellement produire de mieux.

La plupart des types employés dans l'industrie, depuis la classique chaudière à bouilleurs jusqu'aux générateurs mixtes les plus compliqués, étaient représentés au Champ-de-Mars. Cette diversité sera, croyons-nous, un élément d'intérêt pour notre ouvrage, et nous fournira l'occasion de toucher aux diverses questions dont se compose le problème général de la vaporisation. Ce problème présente encore bien des côtés obscurs, qui expliquent la divergence des opinions ; aussi, plusieurs de nos appréciations seront-elles diversement accueillies. Mais nous estimons que, même dans une étude descriptive, une critique motivée, si contestable qu'elle soit, est préférable à un silence prudent, et, en tous cas, plus digne des personnes à qui elle s'adresse qu'une banale approbation.

Les systèmes les plus opposés ne manquent pas de bonnes raisons pour se défendre, et les appuient souvent par des résultats d'expériences. Nous tiendrons compte de ces résultats, sans cependant nous exagérer leur signification. Quelle que soit la compétence et l'impartialité de ceux qui les exécutent, des essais ne sauraient fournir des termes de comparaison qu'entre des appareils placés dans des conditions identiques. Quand on considère l'influence réciproque des divers éléments d'appréciation, tels que la puissance évaporative, le rendement, l'entraînement d'eau ou *primage*, les facilités d'installation, de conduite, d'entretien, les conditions de sécurité, etc., on reconnaît qu'il existe entre toutes ces variables une fonction telle que la variation de l'une quelconque, au moins entre certaines limites, n'affecte pas toujours en proportion la valeur absolue du système, c'est-à-dire la somme d'avantages qu'il peut réaliser. Dans l'étude d'un générateur, établi ou à établir, il faut donc avant tout déterminer, d'après les circonstances particulières, quel est celui de ces avantages qu'on doit rendre maximum, sans toutefois diminuer trop les autres.

Ce maximum dépendra non seulement des formes de la chaudière, mais aussi des conditions de mar-

(1) Dans les expériences exécutées à Mulhouse par M. Scheurer-Kestner, sur des appareils bien établis et bien conduits, l'effet utile a varié de 65 pour cent (avec foyer extérieur) à 75 pour cent (avec foyer intérieur).

che: activité du feu, pression, température de l'eau introduite, hauteur du niveau, etc. Contrôler ces conditions et conserver à chacune la valeur qui convient, tel est l'objet des divers accessoires et constructions annexes, dont l'étude nous a paru le complément indispensable de celle des générateurs.

Nous décrirons d'abord en détail les grandes installations de l'Exposition, dans l'ordre où elles étaient distribuées; puis, une série de générateurs fixes, mi-fixes et locomobiles, groupés d'après leur importance, et, pour les appareils de puissance comparable, en commençant par les moins compliqués; enfin, nous parlerons d'un certain nombre d'accessoires et de constructions annexes, qui, n'étant caractéristiques d'aucun des systèmes décrits, n'auront pu trouver place dans les divisions précédentes. On nous pardonnera les répétitions inévitables dans une suite d'études qu'on doit pouvoir consulter séparément, et aussi certaines longueurs motivées par les différentes catégories de lecteurs, tel renseignement superflu pour un ingénieur, pouvant être utile, par exemple, pour la préparation d'un projet d'École.

La partie graphique dans un travail de ce genre a une importance absolument essentielle. De ce côté du moins, notre ouvrage laissera peu à désirer. Je me hâte d'en attribuer tout le mérite à M. Desnos, dont la collaboration m'a été si utile aussi pour la préparation du texte.

Il suffit de parcourir quelques planches pour s'assurer que nous ne nous sommes pas contentés d'indiquer le principe des appareils; nous avons voulu les reproduire dans tous leurs détails, en nous rapprochant, par des cotes nombreuses, des dessins d'exécution. Quelques plans des installations faites par les constructeurs mêmes ont été intercalés à titre d'exemple. L'application des teintes conventionnelles et l'emploi systématique des mêmes lettres pour désigner les organes analogues, rendront la lecture des planches plus rapide, et permettront d'abréger les descriptions.

Notre tâche a été singulièrement facilitée par l'obligeance qu'ont mise les constructeurs et leurs ingénieurs à compléter les renseignements que nous avions pu recueillir. C'est pour nous un devoir de leur présenter nos remerciements au début d'une publication qui ne pouvait être entreprise sans leur concours. Qu'il nous soit permis d'exprimer aussi notre respectueuse reconnaissance, pour leurs encouragements et leurs précieux conseils, aux ingénieurs éminents sous les ordres de qui nous avons eu l'honneur d'être placés à l'Exposition.



LES GÉNÉRATEURS A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

Nous avons donné, au commencement des *Nouvelles-Machines*, quelques indications sur la distribution de la force motrice à l'Exposition de 1878; nous les compléterons ici, en ce qui concerne la production de la vapeur.

Les premières conditions imposées étaient naturellement l'installation des générateurs à l'extérieur du Palais, et leur répartition dans le parc suivant les besoins de chaque région, de manière à éviter une canalisation de vapeur trop longue, et une distribution très inégale aux divers exposants. Cette subdivision ne pouvait cependant être poussée trop loin, sous peine d'exagérer les frais d'établissement, et de rendre difficile la surveillance. Les chaudières furent disposées par groupes (desservis chacun par une cheminée) dans l'espace compris entre le Palais et les annexes principales, en réalisant autant que possible les circonstances habituelles de leur installation dans l'industrie.

Pour diminuer la longueur des conduites, chaque groupe fut placé au droit de l'une des portes latérales du Palais; une galerie souterraine, boisée comme une galerie de mines, se dirigeait perpendiculairement du bâtiment des chaudières vers la porte voisine, et débouchait dans un conduit semblable, situé dans l'axe de la Galerie des Machines. La même disposition était appliquée pour les annexes; les plus éloignées furent alimentées directement par des générateurs de puissance moindre. Enfin, deux groupes de chaudières furent installés sur la berge (rive droite) pour le service général des eaux.

Chaque groupe fut confié à un seul constructeur (sauf le groupe Suisse-Belge, et cette exception, par la suite, ne fit que confirmer l'excellence de la règle); lorsque ce constructeur fournissait aussi une machine motrice, il était naturellement chargé du groupe correspondant. Conformément aux décrets sur les appareils à vapeur, les chaudières venant de l'étranger furent éprouvées à la presse hydraulique, par l'ingénieur au Corps des Mines attaché au Service des Machines, M. G. Rolland.

Tous les frais d'installation étaient à la charge des constructeurs, qui, en général, ne ménagèrent aucune dépense pour rendre leurs expositions plus remarquables. L'Administration livrait l'eau gratuitement; de plus, elle tenait largement compte de la quantité de vapeur fournie. Les constructeurs étaient ainsi intéressés à exagérer la vaporisation, ce qui, dans une exposition, présente moins d'inconvénients que la tendance contraire. L'eau vaporisée par l'ensemble des générateurs dépassait souvent 50,000 kilogrammes par heure, dans l'après-midi.

Les générateurs en activité à l'Exposition étaient distribués dans l'ordre suivant :

GROUPES	CONSTRUCTEURS	NOMBRE de générateurs	SYSTÈME	SURFACE totale de chaleur
Section française				
I	CHEVALIER-GRENIER et DROUX, à Lyon (Rhône).	1	fixe, à foyers intér. et bouilleurs verticaux	290mq
		2	id. id. et réchauffeurs	
II	E. BOYER et P. VILLETTÉ, à Lille (Nord).	2	id. à bouilleurs et réchauffeurs.....	418
III	BELLEVILLE et C ^e , à St Denis (Seine).	3	id. à tubes bouilleurs (système inexplosible).....	347
IV	S ^e CENTRALE de Constr ^{on} , à Pantin (Seine).	3	id. à foyer et faisceau tubulaire amovibles.	201
V	C ^e de FIVES-LILLE (Nord).	2	id. tubulaire, type locomotive	231
Sections étrangères				
I	GALLOWAY et fils, à Manchester (Angleterre).	3	fixe, à foyers int ^{rs} , bouilleurs transversaux et économiseur Green.....	318
II	SÉRAPHIN frères, à Paris.	1	id. tubulaire et tubes Field.....	128
III	L. FONTAINE, à Lille (Nord).	2	id. semi-tubulaire, à réchauffeurs.....	220
	SULZER frères, à Winterthur (Suisse).	4	id. tubulaire, à foyer Ten Brink et réchauffeur Sulzer.	
IV	ESCHER, WYSS et C ^e , à Zurich (Suisse).	4	id. à bouilleurs-réchauffeurs et foyer Ten Brink.	
	MAC-NICOL, à Seraing (Belgique).	1	id. à tubes bouilleurs.	480
	DE NEYER et C ^e , à Willebroeck (Belgique).	4	id. id. (système inexplosible).	
	BARBE, PETRY et C ^e , à Molenbeek-Bruxelles (Belgique).	1	id. id.	
Annexes				
1	FOUCHÉ et DE LAHARPE, à Paris.	1	mi-fixe, à foyer intr. et tubes bouilleurs.	
2	SÉRAPHIN frères, à Paris.	1	fixe, tubulaire et tubes Field	
3	HERMANN-LACHAPELLE, à Paris.	1	mi-fixe, vertical	
4	IMBERT frères, à St Chamond (Loire).	1	fixe id. (système Dulac).	250
5	DURENNE, Paris.	1	locomobile	
6	TOULET ainé, à Albert (Somme).	1	id.	
7	ALBARET, à Liancourt (Oise).	1	id.	
Usine hydraulique				
1	LE BRUN, à Creil (Oise).	2	fixe semi-tubulaire	558
2	MEUNIER et C ^e , à Fives-villes (Nord).	2	id. id.	

La surveillance de tous les appareils concourant à la distribution de la force motrice présentait une importance particulière dans cette immense usine, où le public circulait librement. Pour les chaudières, les divers circonstances de leur fonctionnement, pression, hauteur du niveau, etc., étaient relevées de quart d'heure en quart d'heure par les surveillants. Les poids

de combustible brûlé et d'eau vaporisée étaient contrôlés chaque jour. Quelques essais furent exécutés par MM. E. Parent et E. Desnos, attachés au Service, pour vérifier si la dépense en eau et en charbon correspondait bien au rendement. Sans insister sur des expériences dont l'objet n'était pas de comparer les divers systèmes, nous dirons que la quantité de vapeur (à cinq atmosphères environ) produite par kilogramme de combustible était, en prenant une moyenne, de huit kilogrammes; elle s'est élevée dans certains cas jusqu'à plus de neuf kilogrammes. L'eau condensée en assez forte proportion, vu la longueur des conduites et la tendance à pousser la vaporisation, était recueillie par des purgeurs automatiques.

Outre les générateurs en activité, d'autres étaient simplement exposés, notamment les chaudières pour bateaux et locomotives du Creusot, la chaudière *Farcot*, à foyer et faisceau amovibles, la chaudière *Armand Girard*, à tubes démontables, avec garnitures d'amiante, les générateurs *Victoor et Fourcy*, *Liénard-Benoit*, *Claparède*, etc., enfin un grand nombre de chaudières verticales et locomotives. Quelques systèmes ne figuraient qu'à l'état de modèles réduits (chaudière *Cadiat*, à bouilleurs verticaux) ou de dessins, comme la chaudière *Bède* (section Belge), composée de deux corps cylindriques superposés et réunis par des tubes verticaux, la chaudière marine de M. *P. di Luca* (section italienne) à deux foyers et retour tubulaire, etc.

Il sera parlé de la plupart de ces appareils dans le cours de l'ouvrage, en réservant la plus grande place à ceux dont nous avons pu apprécier le fonctionnement.

L'Exposition de 1878 n'a certes pas mis au jour de ces innovations qui transforment une industrie, mais elle a permis de constater, dans toutes les directions, des améliorations de détail dont l'ensemble constitue un réel progrès. Dans la construction des chaudières, comme dans celle des machines, la science est venue après coup éclairer la pratique, et à mesure que la critique des appareils existants et l'étude des phénomènes variés qui s'y produisent déterminaient les conditions rationnelles d'établissement et de fonctionnement de ces appareils, les constructeurs s'empressaient partout d'en tenir compte.

Cette tendance à suivre autant que possible, même au prix de plus grandes difficultés de construction, les indications de la théorie, peut être vérifiée sur tous les systèmes, au triple point de vue de la sécurité, du rendement et des facilités d'entretien. A la sécurité se rapportent, non seulement la réduction de la puissance explosive par la division, aujourd'hui si en faveur, de la masse d'eau, mais encore tous les perfectionnements qui ont pour but d'assurer la libre dilatation des diverses pièces, leur amovibilité, la circulation rapide de l'eau, l'accumulation des dépôts dans des récipients déjecteurs loin du coup de feu, etc. L'élévation du rendement est la conséquence à la fois d'une combustion plus complète et d'une meilleure utilisation de la chaleur dégagée. La première condition conduit à faciliter le mélange des gaz comburant et combustibles (grande étendue libre de la grille, barreaux minces, injections d'air, etc.) et à réservé un espace aussi vaste que possible à leur inflammation, de manière à ralentir leur départ; pour la seconde condition, on se préoccupe davantage de n'abandonner que des gaz suffisamment refroidis, de profiter, même quand le foyer est extérieur, du rayonnement de la grille, d'augmenter dans les carreaux le rapport de la surface de chauffe à celle des maçonneries, enfin de réduire par tous les moyens la déperdition extérieure. Au point de vue des facilités de transport, d'installation et d'entretien, on trouve aujourd'hui des types de générateurs répondant à toute combinaison possible de circonstances locales.

Il peut arriver qu'une même disposition soit avantageuse à des points de vue différents, c'est ainsi que le sectionnement de l'eau hâte la mise en pression, que la circulation a le même effet qu'une augmentation de la surface de chauffe, que la réduction de l'emplacement occupé et

la rapide utilisation de la chaleur diminuent les pertes par rayonnement, conductibilité, rentrées d'air, etc., pertes d'autant plus marquées que les appareils sont plus volumineux, et que les gaz y demeurent plus longtemps à une haute température.

Plus généralement tout avantage est pour ainsi dire doublé d'un inconvénient auquel il s'agit ensuite de porter remède. Ainsi, le sectionnement et la circulation de l'eau favorisent son entraînement, que l'on combat en faisant passer la vapeur dans des réservoirs, des sécheurs, ou à travers des orifices étroits. La réduction du volume et du poids des appareils, obtenue aux dépens des réserves d'eau et de vapeur, et du volant de chaleur que réalisent les maçonneries, rend nécessairement les appareils plus sensibles aux variations de dépense et de combustion, et par suite plus difficiles à conduire, plus exposés aux accidents qu'entraîne un défaut de vigilance. On corrige ces inconvénients par l'emploi d'accessoires perfectionnés, dont la construction, en se spécialisant, a fait de si rapides progrès (indicateurs et régulateurs du niveau, manomètre enregistreur Bourdon, avertisseur électrique Lethuillier-Pinel, régulateurs du tirage, pyromètres, purgeurs, etc.). Dans un avenir prochain, non seulement toutes les circonstances du fonctionnement des générateurs seront mesurées à chaque instant avec précision, mais leurs variations, de plus en plus réglées automatiquement, seront transmises au loin pour la sûreté du contrôle, et laisseront une trace durable permettant d'étudier à loisir leur succession. Ajoutons que cette tendance de la chaudière à devenir de jour en jour plus *mécanique*, loin de rabaisser le rôle du chauffeur, fait mieux ressortir son importance.

L'inconvénient général de la plupart des perfectionnements apportés aux générateurs, est l'accroissement de complication qui en résulte. De ce côté, les progrès de la métallurgie et l'amélioration de l'outillage permettront de produire à moins de frais des appareils d'une exécution difficile. Lorsqu'on se sert de matériaux de choix, on peut réduire l'épaisseur des pièces; le poids des tôles diminue, en même temps que leur protection par l'eau devient plus efficace; c'est ainsi que l'emploi de l'acier fondu se généralise à mesure qu'il devient plus facile de l'obtenir plus homogène et d'une ductilité convenable.

En résumé, la construction des chaudières est plus que jamais en voie de développement, et l'on peut admirer avec quelle promptitude les constructeurs et les inventeurs savent ingénieusement tirer parti des progrès qui s'accomplissent de toutes parts, dans les sciences comme dans l'industrie, pour l'amélioration de l'appareil où s'élabore cette force formidable et si docile de la vapeur, dont l'application, en moins d'un siècle, a centuplé la puissance productive de l'humanité.

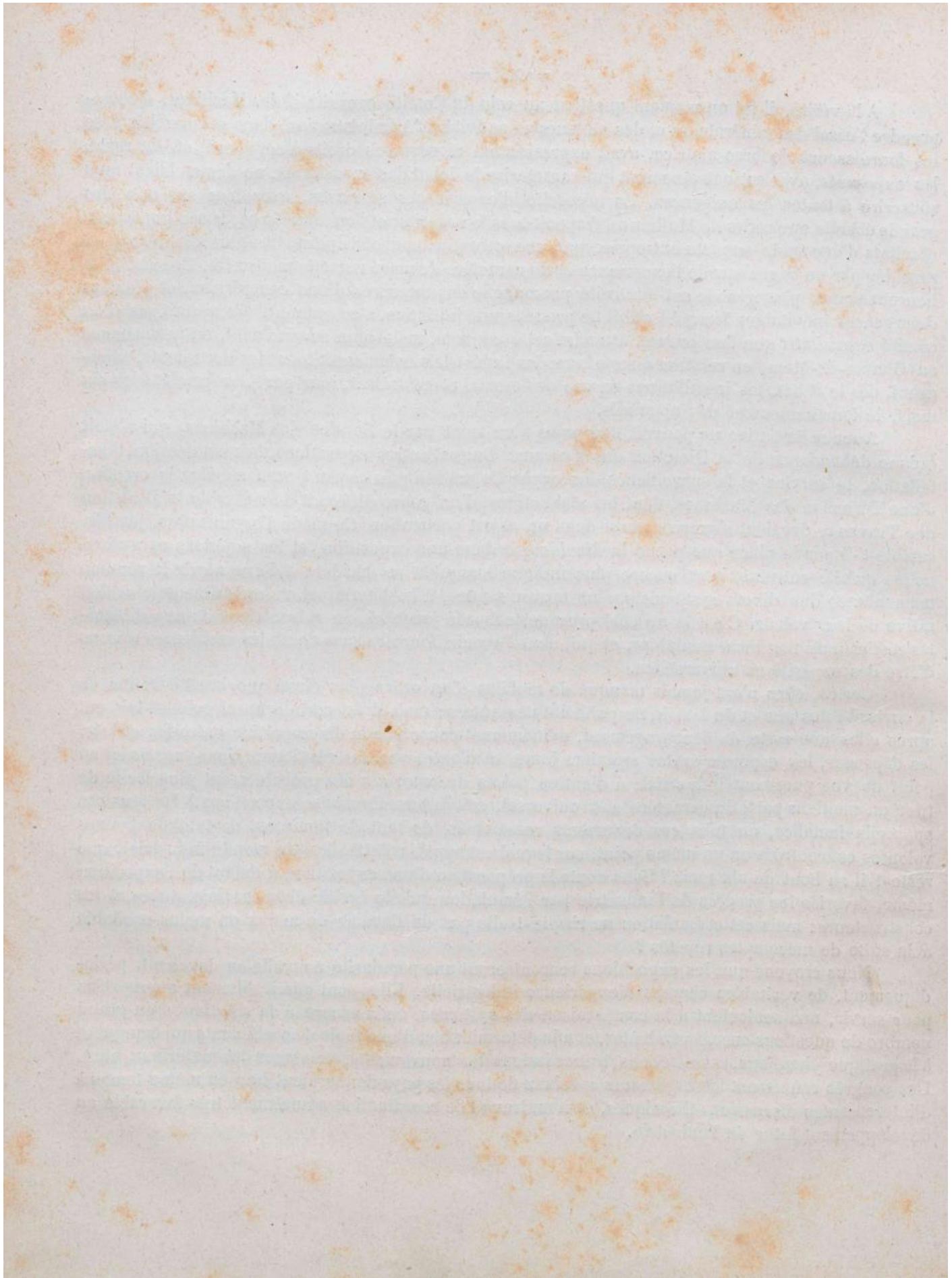
Le seul obstacle que rencontre le perfectionnement des générateurs, est la difficulté de contrôler les inductions de la théorie, ou les résultats d'une expérimentation restreinte, par des essais définitifs, exécutés dans les conditions mêmes de la pratique industrielle. Non seulement les frais considérables de construction et d'installation ne permettent pas de tenter des innovations dont les avantages seraient trop aléatoires, mais les expériences même sur des appareils établis ne peuvent pas toujours être conduites avec toute la précision désirable, en raison des dépenses ou des dérangements qu'elles occasionnent dans les usines. Il est peut-être à regretter, à ce sujet, que l'on n'ait pas profité de l'installation simultanée et provisoire de tant d'appareils à l'Exposition, pour faire des expériences qui, exécutées par les mêmes personnes et dans les mêmes conditions, eussent permis une comparaison sérieuse entre les différents systèmes, et fourni une base indiscutable aux appréciations du jury. Sans insister sur les motifs qu'on a pu invoquer contre une façon aussi naturelle de procéder (motifs évidemment tirés de l'intérêt des industriels, plutôt que de l'intérêt de l'industrie), nous remarquerons seulement que leur conséquence logique serait la suppression de tout système de récompenses.

A la vérité, il fut un moment question au sein du Comité consultatif des Machines, d'entreprendre l'essai des générateurs et des moteurs en activité. L'Administration, dans ses marchés avec les fournisseurs de force motrice, avait expressément réservé ses droits à cet égard, et, du reste, les exposants, avec cet entraînement qui caractérise le début des expositions, ne demandaient qu'à souscrire à toutes les exigences. La nécessité d'expériences sérieuses, exécutées sur une plus grande échelle que celles de Mulhouse, frappait tous les esprits, et l'on aimait à espérer d'importants résultats d'une vaste enquête entreprise par une commission choisie parmi les plus distingués, et présidée par un ingénieur de l'expérience et du caractère de notre regretté maître Ch. Couche. Mal heureusement, plus grande est l'autorité personnelle des membres d'une commission, et plus les divergences inévitables lorsqu'il s'agit de prendre une initiative, s'accentuent. Ce n'était pas d'un comité *consultatif* que l'on pouvait attendre cette enquête, mais d'un service actif, en permanence au Champ-de-Mars, en relation directe avec les industriels, réunissant tous les documents, dirigeant, dès le début, les installations en vue des essais, et contrôlant, jour par jour pendant les six mois, le fonctionnement des appareils.

Aucune initiative ne pouvait être prise à ce sujet par le Service des Machines, qui n'était qu'une dépendance de la Direction des Travaux. Dans d'autres expositions, la manutention, l'installation, le service et la surveillance des appareils mécaniques avaient paru mériter la création d'une Direction des Machines, dont les attributions, d'un genre différent de celles de la Direction des Travaux, devaient s'exercer aussi dans un esprit particulier. Ce mode d'organisation, justifié, semble-t-il par la place que prend la *Machinerie* dans une exposition, et les sujétions exceptionnelles qu'elle entraîne, sera encore plus indiqué lorsqu'on se décidera à faire servir la réunion momentanée des divers systèmes sur un terrain neutre, à la détermination expérimentale et définitive de leur valeur. C'est là un côté presque inabordé jusqu'ici, en raison de certaines difficultés réelles mais non insurmontables, et qui, dans l'avenir, fournira sans doute les meilleures raisons d'être des expositions universelles.

Certes, elles n'ont jamais manqué de mobiles d'un ordre plus élevé que la satisfaction de la curiosité des uns et du besoin de publicité des autres ; mais il est certain aussi qu'elles laissent après elles une sorte de découragement, évidemment causé par la disproportion entre les efforts, les dépenses, les espérances des premiers jours, et d'autre part les résultats. (Nous parlons ici au point de vue purement industriel ; à d'autres points de vue, il a été probablement plus facile de tirer un meilleur parti du caractère soit universel, soit international des expositions.) De tous ces appareils installés, de tous ces documents rassemblés, de tant de lumières, de tant de bonnes volontés concentrées en un même point, sur lequel est appelée l'attention du monde industriel, que reste-t-il au bout de six mois ? Sans doute la préparation d'une exposition, à défaut de l'exposition même, favorise les progrès de l'industrie par l'émulation qu'elle éveille chez les inventeurs et les constructeurs ; mais cette émulation ne risque-t-elle pas de devenir de moins en moins excitante à la suite de mécomptes répétés ?

Nous croyons que les expositions rencontreront une popularité nouvelle en devenant, périodiquement, de véritables champs d'expérience industrielle. Elles sont admirablement appropriées pour servir, non seulement à la comparaison des systèmes, mais encore à la solution d'un grand nombre de questions encore pendantes, et à la détermination d'une foule de coefficients qui manquent à la pratique (chauffage, canalisations, transmissions des mouvements, résistance des matériaux, etc.). Des congrès réunissant les ingénieurs spéciaux de tous les pays donneraient lieu en même temps à d'intéressantes discussions théoriques, et à un travail de coordination assurément très favorable au développement futur de l'industrie.



I

GÉNÉRATEURS FIXES

CHAUDIÈRES DE MM. CHEVALIER-GRENIER ET L. DROUX, A LYON

Le groupe de générateurs qui, à l'Exposition de 1878, desservait les deux premières sections, du côté de la Seine, de la Galerie française des machines, et la grande annexe correspondante, avait été installé par la maison V^e Chevalier O. Grenier et L. Droux.

Nous rappellerons que cette maison fut fondée à Lyon, en 1840, par Laurent Chevalier, ancien ouvrier de Marc Séguin (dès 1827, lorsque ce dernier inventa la chaudière tubulaire) et l'un des constructeurs qui ont le plus contribué à répandre en France les divers types de générateurs, notamment la locomobile agricole. Aujourd'hui, les ateliers dirigés par M. O. Grenier emploient, sur les deux rives du Rhône, plus de cinq cents ouvriers à la construction des générateurs, des machines, aux travaux de grande chaudronnerie, aux constructions navales, et font timbrer, annuellement, plus de trois cents chaudières, locomobiles ou fixes, pour l'industrie ou la navigation. Leurs principaux débouchés sont le centre et le midi de la France, le nord de l'Italie et l'Espagne. A Paris, ils ont fourni les chaudières des bateaux-omnibus.

D'autres maisons se font une spécialité de la construction d'un type unique, successivement perfectionné, dont elles reproduisent toute la série; celle-ci a bien quelques dispositions qui lui sont propres, mais ne s'est jamais tenue exclusivement à aucune d'elles. A toutes les expositions, depuis 1855, on retrouve MM. Chevalier-Grenier parmi les fournisseurs de force motrice, presque toujours avec quelque générateur d'un nouveau genre, et la facilité avec laquelle ces constructeurs passent à l'exécution des types les plus différents et les plus tourmentés, ne fait pas moins d'honneur à l'habileté de leurs ouvriers qu'à la qualité des tôles de leurs fournisseurs de la Loire.

Un goût marqué pour les combinaisons nouvelles, et des conditions favorables pour les réaliser, les ont portés de bonne heure à s'écartier des systèmes généralement usités en France, et à suivre l'exemple des grands constructeurs de Manchester. De leurs trois chaudières fixes de

l'Exposition, deux appartenaient au type ordinaire du Lancashire ; l'autre, d'une forme plus compliquée, présentait également les deux foyers intérieurs ; cette disposition du foyer, et son amovibilité dans les appareils moins considérables, sont, du reste, des caractères communs à la plupart des types construits par cette maison. Nous décrirons d'abord celui des générateurs du groupe qui, par sa structure assez originale, attire plus vivement l'attention.

I. — Générateur à foyers intérieurs et à bouilleurs verticaux.

Nous avons réuni sur la planche I toutes les coupes et vues nécessaires pour suivre la description de ce générateur. La figure 1 est une coupe longitudinale suivant l'axe principal, sauf une déviation à travers l'un des foyers, dont il était utile de montrer la section. La figure 2 donne à la fois la vue en plan et une coupe horizontale, faite à la hauteur du foyer.

L'ensemble des figures 1 et 2 permet de saisir la disposition générale de l'appareil. On voit qu'il se compose essentiellement de trois parties distinctes : un double foyer enveloppé d'eau, une chambre pour la combustion des gaz, enfin une double série de bouilleurs horizontaux reliés deux à deux par un grand nombre de longs cuissards verticaux.

La figure 3 présente deux demi-coupes transversales : l'une par le foyer, l'autre par la chambre de combustion ; sur cette dernière, la projection des bouilleurs verticaux est tracée en pointillé. Enfin la figure 4, ou vue de face du générateur, indique la position de ses divers accessoires.

Ainsi, le corps cylindrique *A*, d'un diamètre considérable (2^m,280), n'a que la longueur des tubes portant les foyers, et se termine par des fonds plats, auxquels ces tubes sont suspendus. Les foyers ont 2 mètres de long et 0^m,900 de diamètre ; leurs axes sont écartés de 1^m,100, et viennent rencontrer le fond d'arrière à 30 centimètres au-dessous de l'axe du corps cylindrique. Sur ce fond, et immédiatement au-dessus des foyers, viennent s'attacher trois bouilleurs horizontaux *B*, dans le même plan, et d'une longueur de 6^m,800. Leur diamètre est de 0^m,600, mais, pour que les corrières d'attache puissent trouver place sur le fond du corps cylindrique, ce diamètre, à l'extrémité antérieure, est réduit à 0^m,400 au moyen d'une virole conique *A'*, de 0^m,900 de longueur.

A deux mètres plus bas, et verticalement au-dessous des bouilleurs *B*, sont placés trois autres bouilleurs horizontaux *B'*, de même diamètre 0^m,600 ; ils ont toute la longueur des premiers, plus celle du corps cylindrique, à la partie inférieure duquel chacun d'eux est attaché par deux cuissards *a*. Enfin douze bouilleurs verticaux relient les bouilleurs *B* et *B'* qui se correspondent, soit en tout trente-six bouilleurs verticaux. Le premier de chaque file, *b*, immédiatement après la virole conique, a un diamètre de 0^m,400 ; les onze suivants *b'*, de 0^m,250 seulement de diamètre, sont uniformément répartis sur les bouilleurs horizontaux, en laissant libre à l'extrémité une longueur un peu plus grande que celle qui doit s'encastre dans le mur du fond.

Disons de suite que tout l'ensemble est supporté d'abord aux deux bouts, puis sous les bouilleurs *B'* par de petites murettes *l* disposées de distance en distance. La partie supérieure du corps cylindrique et des bouilleurs *B*, est noyée dans la maçonnerie jusqu'à une dizaine de centimètres au-dessous de l'axe de ces bouilleurs ; le niveau de l'eau doit naturellement être maintenu un peu plus haut.

Dans l'intervalle de 1 mètre depuis le fond cylindrique jusqu'aux bouilleurs *b*, se trouve la chambre de combustion *C*. Une voûte *k* (fig. 1 et 3) s'étend sous la virole conique *A'*, de l'un à l'autre des murs latéraux du générateur ; elle s'appuie, du côté des foyers sur trois piliers *h*, de l'autre sur une cloison *K*, adossée aux brouilleurs *b*, et dans laquelle sont ménagées, de chaque

côté de ces bouilleurs, et en contrebas des foyers, des ouvertures rectangulaires *c*. La cloison et les piliers reposent, en partie sur les bouilleurs *B'*, en partie sur les deux demi-voûtes *k*, qui, partant des murs latéraux, viennent s'appliquer chacune à la hauteur de l'axe et tout le long du bouilleur voisin, depuis le mur de face jusqu'à 0^m,900 du mur du fond. Les intervalles entre le bouilleur *B'* du milieu et les deux autres sont comblés, sur la même longueur, avec un peu de maçonnerie. Toutes ces maçonneries, en contact direct avec les gaz enflammés, sont construites, bien entendu, en matériaux réfractaires. La cloison *K* est creuse, et dans les vides intérieurs peut circuler de l'air froid amené, au-dessus de la voûte *K*, par un orifice *O* dont on règle l'ouverture au moyen d'une valve *O'*. Cet air, qui s'est plus ou moins échauffé dans son parcours, vient déboucher sur le passage même des gaz, par de petits orifices *o*, pratiqués à travers la voûte et la cloison.

Il est maintenant facile de suivre la marche des produits de la combustion, depuis les grilles jusqu'à la cheminée. En sortant des foyers, dont les dimensions réduites et la température relativement basse ne sauraient permettre qu'une combustion incomplète, les gaz arrivent dans la chambre *C* beaucoup plus vaste, et dont les parois sont chauffées au rouge. Un brassage énergique s'opère dans toute leur masse, par suite, à la fois, du choc contre la cloison et des remous qu'occasionne une brusque dilatation ; les éléments encore combustibles sont amenés en contact, à une haute température, avec les filets plus riches en oxygène, ou avec l'air qu'on peut au besoin faire arriver par les orifices *o* ; la combustion s'achève et dilate encore le volume des gaz. Ceux-ci passent alors, à travers les ouvertures *c*, dans la grande chambre *C'*, que les constructeurs appellent *chambre d'utilisation*. C'est en effet dans cet espace que les gaz cèdent la plus grande partie de leur chaleur aux bouilleurs verticaux qu'ils enveloppent de toutes parts, à la partie inférieure des bouilleurs *B*, et à la partie supérieure des bouilleurs *B'*. Le ralentissement de leur vitesse, en raison de la section considérable du carneau, favorise leur refroidissement. Arrivés à l'extrémité de la chaudière, les produits de la combustion descendant, par les ouvertures *c*, dans le conduit *C²*, puis reviennent vers l'avant, et transmettent encore un peu de chaleur au-dessous des bouilleurs *B'* ; ils s'engagent enfin dans le conduit *C³*, qui renferme le registre *R*, et qui aboutit au conduit général *C⁴* allant à la cheminée.

L'eau d'alimentation, arrivant par l'embranchement *E*, traverse d'abord un clapet de retenue *e*, que la pression de la chaudière maintient sur son siège lorsque les pompes ou l'injecteur ne fonctionnent pas, puis un autre clapet *e'*, dont la hauteur est réglée par une tige vissée dans un écrou, et qu'on manoeuvre facilement à l'aide d'un volant à main *e²*. L'introduction d'eau se fait par le bouilleur *B'* du milieu, à la partie supérieure de son fond antérieur ; sur le fond opposé, ce bouilleur, ainsi que les deux autres, porte un robinet de vidange *E'*, attaché aussi bas que possible.

Quelle sera la circulation de l'eau dans l'intérieur de la chaudière ? Pour répondre à cette question, il faudrait pouvoir tenir compte, non seulement de la température relative de toutes les parties de la masse en mouvement, et de leur distance au niveau, mais encore de toutes les pertes de charge qu'elles éprouvent (frottements, changements brusques de vitesse, etc.) en circulant dans un appareil aussi compliqué. On ne pourrait même arriver à aucune conclusion absolue en observant ce qui se passerait dans un petit modèle en verre, (comme les constructeurs en exposent quelquefois) dans lequel l'eau chauffée tiendrait quelques corps légers en suspension. Tous les rapports doivent se trouver modifiés lorsqu'on fait ainsi varier la nature des parois, la valeur absolue des dimensions, des pressions et des températures, tandis que d'autres éléments de la question, la température de l'eau introduite, par exemple, restent à peu près constants.

Pour nous contenter de simples probabilités, considérons quels sont les points de plus grande vaporisation : évidemment le ciel du foyer et les tubes verticaux, directement exposés au choc des

gaz. On peut admettre que le remplacement de l'eau vaporisée se fera suivant la direction de moindre résistance au transport, c'est-à-dire que le niveau dans le corps cylindrique se rétablira plutôt par un flux venant des bouilleurs B , que par le déplacement de l'eau qui se trouve au-dessous des foyers, obligée de traverser d'étroits passages entre ces foyers, avant de parvenir au niveau. Quant aux tubes verticaux, la circulation s'y produira naturellement de bas en haut. Elle aura pour effet de produire un appel sur la partie antérieure des bouilleurs B' , et par suite sur le bas du corps cylindrique. Lorsqu'on alimentera, l'eau froide arrivant par la partie supérieure du bouilleur du milieu, loin de passer, par les cuissards a , dans le corps cylindrique et de là dans les autres bouilleurs B' , commencera par descendre en vertu de sa densité, puis, avant d'avoir eu le temps de s'échauffer beaucoup, se trouvera entraînée dans les tubes verticaux où elle sera exposée au maximum de chaleur. La circulation ne sera donc pas absolument *méthodique*. A la rigueur elle présentera ce caractère dans les tubes verticaux, du moins dans la plupart ; les gaz les plus chauds étant supposés à la partie supérieure, le mouvement de l'eau aura bien lieu suivant des températures croissantes. Il est probable qu'indépendamment de cette circulation générale, des circulations en quelque sorte parasites s'établiront sur plusieurs points, dans cet ensemble de vases communicants, maintenus à des températures différentes.

Nous ne nous sommes arrêtés à cette question que pour en montrer les difficultés, et parce que les constructeurs, dans leurs notices, semblaient y attacher une certaine importance. En fait, le sens du courant n'a pas grande influence, croyons-nous, sur le rendement d'un générateur, et si l'on doit éviter d'introduire l'eau froide immédiatement dans les parties les plus chaudes, c'est surtout au point de vue de la conservation des tôles et des rivures. Méthodique ou non, la circulation de l'eau est certainement avantageuse ; en amenant constamment toutes les parties de la masse au contact des parois le plus fortement chauffées, elle produit le même effet qu'une augmentation de la surface de chauffe ; la dépense de chaleur nécessaire pour entretenir le mouvement est, du reste, insignifiante. Ce mouvement doit être très rapide sur les points exposés à des coups de feu afin de les rafraîchir à mesure, et d'empêcher les dépôts d'y adhérer ; il pourra se ralentir là seulement où les visites et les nettoyages seront faciles. Ces conditions sont satisfaites dans l'appareil qui nous occupe, par la verticalité des bouilleurs portés à la plus haute température et les moins accessibles, et par le diamètre beaucoup plus grand donné aux bouilleurs inférieurs. Des trous d'homme, fermés par des tampons autoclaves T et T' , ont été ménagés sur le fond antérieur du corps cylindrique et des bouilleurs B' , afin de pouvoir atteindre les points où les dépôts tendront à s'accumuler. Un autre trou d'homme T^2 , à la partie supérieure du dôme ou réservoir de vapeur D , permet de visiter le dessus des foyers et l'extrémité des bouilleurs B .

Le dôme ne pouvait être installé autre part que sur le grand cylindre qui enveloppe les foyers ; on voit qu'il est formé de trois parties distinctes : un socle en fonte épousant la forme de la chaudière, un corps cylindrique en tôle, et un chapeau en fonte sur lequel sont réunis divers accessoires. Le corps et la base du dôme sont entourés d'un manchon en tôle d'un diamètre un peu supérieur, l'intervalle étant rempli de sable fin ou de toute autre matière peu conductrice. De courtes tubulures, venues de fonte sur le pourtour du chapeau, servent respectivement de point d'attache aux boîtes des deux soupapes de sûreté S , et à celle de la valve de prise de vapeur v , nancœuvrée par le volant v^2 . La vapeur arrive, par une tubulure de 0^m,120, à la conduite générale V , de 0^m,200 de diamètre, disposée transversalement au-dessus des trois chaudières du groupe.

Un petit tuyau U , allant de la valve à la conduite, et muni d'un robinet u , permet d'échauffer graduellement cette conduite par un jet de vapeur, avant la mise en marche des machines. Cette disposition, destinée à prévenir les accidents qu'occasionne trop souvent une brusque ouverture de

la prise de vapeur, était d'autant plus utile à l'Exposition, que la longueur de la tuyauterie, installée par M. M. Chevalier-Grenier et Droux, pour distribuer la vapeur dans la galerie des machines et la grande annexe, dépassait un kilomètre, et présentait plus de 700 joints pour les divers coudes et raccordements.

Sur le dôme de vapeur est encore monté un indicateur magnétique du niveau *I*, de MM. Lethuillier et Pinel. Nous reviendrons plus loin sur cet instrument, en parlant des accessoires chaudières; nous ferons seulement remarquer que son installation, au-dessus des foyers, n'est guère favorable à la précision de ses indications; le petit guide *i*¹ était indispensable pour empêcher la tige du flotteur *i* d'être déviée et brisée par les ébullitions tumultueuses. Un dispositif quelconque pour diminuer les oscillations exagérées du barreau aimanté, combiné avec la présence d'un double sifflet d'alarme sur l'indicateur, aurait pu être appliqué avec avantage à un générateur dans lequel la constance du niveau a une importance particulière. Comme dans toutes les chaudières à foyer intérieur, une couche d'eau doit toujours recouvrir le ciel des tubes, directement exposé au contact de la flamme et au rayonnement du combustible. D'autre part, le niveau ne doit jamais s'élever au point de fermer l'ouverture de 0^m,400 de diamètre, par laquelle le corps cylindrique communique aux bouilleurs. Le moindre inconvénient de cette circonstance serait un entraînement d'eau très considérable, par suite des violentes projections auxquelles donnerait lieu la dilatation de la vapeur ainsi isolée dans les bouilleurs.

Pour assurer l'indication de la hauteur réelle de l'eau, les constructeurs ont fait précédé chacun des deux tubes de niveau réglementaires *N*, d'une bouteille en fonte *N*¹, dans laquelle la vapeur est amenée du dôme, par le tuyau *n*, et dont la partie inférieure reçoit l'eau de la chaudière, prise en un point auquel le niveau ne s'abaisse dans aucun cas. Cette disposition empêche les ébullitions et la mousse qu'elles produisent, de parvenir jusqu'aux tubes de verre; l'eau étant relativement froide dans ces tubes, leur rupture et les fuites par les robinets sont moins à craindre.

Sur chacune des bouteilles *N*¹, vient se fixer un tuyau en cuivre, muni d'un robinet *m*, et conduisant la vapeur à un manomètre métallique *M* (fig. 4).

On voit sur la figure 1 que les tubes portant les foyers se relèvent légèrement vers l'avant; cette disposition, vicieuse à tous les points de vue, n'avait été adoptée par les constructeurs que pour faire déboucher ces foyers à la même hauteur que ceux des deux autres chaudières, et donner ainsi un meilleur aspect à l'ensemble du groupe. Dans les appareils du même type, construits depuis l'Exposition, les foyers sont horizontaux à partir de leur attache sur le fond d'arrière; l'épaisseur de la couche d'eau qui les recouvre ne va plus en diminuant jusqu'au fond antérieur; d'autre part, la grille conservant son inclinaison, la distribution de l'air froid et le départ des produits de la combustion s'opèrent dans des conditions plus rationnelles.

La grille *C*¹, d'une longueur de 1^m,500, comprend deux rangées de barreaux supportées par une sole *g*, et par deux sommiers *g*¹, *g*², qui reposent sur des taquets fixés aux parois du foyer. Ces taquets sont attachés, non par des rivets, qui, dans cette région soumise à des dilatations et des contractions continues, pourraient donner lieu à des fuites, mais par des vis, ne traversant pas l'épaisseur de la tôle. La grille s'élève, sur la sole, à cinq centimètres au-dessus de l'axe du foyer; elle présente une pente de quinze centimètres environ vers l'autel *H*. Ce dernier n'a pas ici pour fonction de relever les flammes vers des tôles déjà trop directement exposée à leur action; il ne dépasse les barreaux que de la hauteur suffisante pour empêcher le charbon de tomber dans la chambre de combustion. Comme dans tout foyer intérieur du reste, la couche de combustible doit être aussi mince que possible; il est bon qu'elle ne vienne pas toucher les parois latérales, et qu'une petite nappe d'air passe continuellement entre la tôle et le dernier barreau.

Chaque foyer est fermé par une plaque en fonte, à laquelle sont suspendues, par gonds et pentures, les portes f et f' , l'une pour le foyer proprement dit F , l'autre pour le cendrier. L'ouverture supérieure est garnie d'un encadrement qui pénètre d'une vingtaine de centimètres dans le foyer, et venu de fonte, ainsi que la sole, avec la plaque d'entrée.

Pour empêcher la déperdition de la chaleur, des briques réfractaires h^1 sont logées contre la plaque, entre les parois du foyer et l'encadrement; elles viennent reposer sur la sole de la grille. Dans le même but, la porte de chargement est à double fond. Elle est munie d'une petite ventouse f^2 (fig. 4), formée d'un disque découpé suivant des secteurs opposés, et qu'on peut faire tourner devant des ouvertures correspondantes ménagées dans la porte. Le double fond est percé d'orifices permettant, sans ouvrir la porte, de voir l'état du feu à travers la ventouse. La porte du cendrier présente sur toute son étendue de longues fenêtres verticales, que vient fermer plus ou moins une plaque également découpée, mobile horizontalement. On peut ainsi modérer à volonté l'introduction d'air sous la grille.

Nous avons déjà dit qu'un registre était installé dans le carreau C^3 , par lequel les gaz s'en vont dans le conduit général C^3 qui passe devant les trois chaudières, et aboutit à la cheminée. Ce registre R , est à *papillon*; son axe se prolonge jusqu'au pied de l'une des colonnes de l'abri, et porte à son extrémité un levier r , commandé depuis le sol par une tige verticale; celle-ci est reliée (par l'intermédiaire d'une chaîne passant sur deux poulies portées par la colonne) à une autre tige verticale, à laquelle est suspendu un contrepoids R' équilibrant le registre. Un index r^2 , fixé à la chaîne, donne le degré d'ouverture du registre, sur une règle graduée attachée à la colonne.

Le fond antérieur du corps cylindrique est masqué par une plaque circulaire en fonte P , ornée de moulures et boulonnée dans la maçonnerie; un chambranle en fonte p entoure l'ouverture de chaque foyer. Ce genre de devanture est d'un aspect très satisfaisant. Il serait peut-être préférable de ne pas encastrer dans le mur de front la cornière qui attache le fond antérieur au corps cylindrique, mais de la laisser saillante, les deux lignes de rivets bien accessibles aux visites.

De chaque côté de la devanture, le mur de front présente des regards o^2 , fermés par des plaques de fonte, et par lesquels on peut s'introduire jusqu'à la chambre de combustion. Des regards analogues ménagés dans le mur du fond, permettent de visiter la chambre d'utilisation.

Latéralement, un peu au-dessous de la valve O^1 , se trouvent encore de petites ouvertures o^1 , fermées par des disques en fonte attachés par une oreille, et qui servent à observer l'état des flammes dans la chambre de combustion.

Théoriquement, la quantité d'air à introduire dans cette chambre pour compléter l'oxydation des gaz, devrait varier avec l'état du feu sur la grille, augmenter lorsqu'après un chargement d'abondantes fumées se dégagent, et diminuer progressivement jusqu'à ce que tout le charbon soit bien incandescent. A ce moment, non seulement il ne faudrait plus introduire d'air au-delà de la grille, mais il serait bon de ralentir le tirage, en fermant plus ou moins la porte du cendrier. On ne saurait exiger tant de précautions de la part du chauffeur, d'autant plus que l'obligation d'une couche mince sur la grille, nécessite un chargement toutes les cinq ou six minutes. Ce qu'on peut demander au chauffeur, c'est de charger alternativement les deux grilles, de manière que la période de distillation sur l'une d'elles coïncide avec la combustion du coke sur l'autre, et que l'air passant en excès dans le second foyer, vienne brûler, dans la chambre C , les fumées qui se dégagent du premier. Quant à la valve O^1 , on pourra régler son ouverture, une fois pour toutes, suivant la nature du combustible, de telle sorte qu'il y ait toujours dans la flamme un excès d'air assurant la fumorité.

La circulation d'air à l'intérieur de la cloison K est ingénieuse, mais on peut craindre que

la haute température à laquelle cette cloison est portée n'entraîne bientôt des dégradations et, par suite, l'obstruction des conduits..

On voit que les parois de la chambre *C* ont pour effet, non seulement de brasser les gaz et de maintenir leur incandescence, mais encore de protéger contre leur choc les tôles de la chaudière. Des tubes verticaux comme les bouilleurs *b*, placés immédiatement après les foyers, pourraient être brûlés par des dards enflammés venant les frapper perpendiculairement, s'ils n'étaient garantis par la cloison *K*. La voûte *k* a de même le rôle accessoire, mais non sans importance pour l'entretien de l'appareil, d'empêcher que la température ne devienne trop élevée, dans la région de l'attache des bouilleurs supérieurs avec le fond du cylindre *A*. C'est là, pour ainsi dire, le point délicat de la construction, par suite des dilatations inégales qui tendent à s'y produire, dans des sens différents. En effet, la partie supérieure des foyers est portée à une température bien plus haute que le corps cylindrique, lequel n'est chauffé que par un matelas de gaz à peu près immobile; il en résulte sur les fonds du cylindre une poussée considérable, agissant dans le même sens que la pression de la vapeur. Au contraire, l'effet de la dilatation des bouilleurs *B* est de repousser le fond d'arrière vers l'intérieur; enfin l'allongement dans le sens vertical des tubes *b*, *b₁*, d'autant plus marqué pour chacun d'eux, qu'il est plus voisin de la chambre de combustion, tend à soulever l'extrémité antérieure des bouilleurs du haut, et, par conséquent, à cisailler les rivets qui fixent les cornières d'attache des viroles *A*, à la partie supérieure du fond. On voit à quelle fatigue sont soumises les tôles et les rivures dans cette partie de la chaudière, notamment la portion du fond d'arrière comprise entre les ouvertures des foyers et celles des bouilleurs *B*. Cette fatigue résulte moins de la valeur absolue des efforts que supportent les pièces, et en vue desquels les épaisseurs sont calculées, que de l'alternance des dilatations et des contractions qui se produisent à chaque instant, suivant l'état des grilles.

Ajoutons que toutes les précautions indiquées pour écarter les chances de dislocation ou de rupture ont été prises par les constructeurs. Le corps cylindrique et les fonds ont reçu une épaisseur, que n'auraient pas autorisée les règlements antérieurs au décret de 1865. Les angles d'attache sont armés, de chaque côté, de trois goussets en tôle *a*; ces goussets descendent beaucoup plus bas sur le fond d'arrière, dont il importe surtout d'assurer la rigidité. La dilatation des foyers est ainsi reportée principalement vers l'avant; la poussée qui en résulte est répartie sur la surface du fond antérieur au moyen des trois cornières *a₁*.

La construction du foyer reclamait aussi quelques précautions spéciales. Cette partie du générateur, la plus exposée à toutes les causes d'altération: coups de feu, dilatations inégales, rentrées d'air froid, etc., est en même temps celle dont les conditions de résistance laissent le plus à désirer, par suite de sa forme cylindrique, et de la pression qui s'exerce de l'extérieur vers l'intérieur. Il importe de n'employer à sa construction que des matériaux de choix, et d'éviter tout contact entre le feu et les lignes de rivets. Pour les rivures longitudinales, on peut les placer en dessous de la grille. Quant aux rivures transversales, il faut, ou les supprimer par l'emploi de tôles suffisamment larges, ou recourir à un joint spécial, comme celui connu en Angleterre sous le nom de joint Adamson, et depuis longtemps appliqué en France par M. Mazeline, du Havre.

MM. Chevalier, Grenier ont pris ce dernier parti. Chacun des foyers de leur générateur se compose de deux viroles dont le joint longitudinal est soudé. L'un des bords de chacune d'elles est rabattu extérieurement en forme de bride, et les deux brides viennent s'appliquer de chaque côté d'une rondelle en tôle *j*; le tout est fixé par une rangée de rivets, et le matage se fait sur la circonference extérieure de la rondelle. Le tube-foyer est ensuite attaché au fond antérieur du cylindre, au moyen d'une cornière, et directement au fond d'arrière, par son bord rabattu vers l'extérieur.

On voit quels avantages présente ce joint particulier : la rondelle augmente la résistance à l'écrasement sous la pression extérieure ; cette pression tend même à serrer le joint et à le maintenir étanche ; les rivets sont soustraits à l'action du feu, et la tôle ne présente aucune surépaisseur exposée à brûler.

On remarquera encore que cette disposition de la rivure transversale donne au foyer une certaine élasticité dans le sens longitudinal, circonstance favorable pour diminuer la poussée contre les fonds du grand cylindre, lorsque le foyer se dilate. Par contre, on reproche à ce joint la difficulté de visiter les rivets qui se trouvent dans les espaces assez resserrés, entre les deux foyers, et entre chacun d'eux et le corps cylindrique. On peut encore objecter que le rabattement des bords des viroles exige l'emploi de tôles de qualité supérieure, mais on ne devrait jamais en employer d'autres à la construction des foyers intérieurs.

Ceux que nous décrivons sont en tôle au bois, du n° 5 du Creusot, correspondant au *low-moor* anglais.

Voici les épaisseurs des différentes parties de la chaudière :

Corps cylindrique	0,019
Tubes-foyers	0,016
Réservoir de vapeur	0,015
Cuissards <i>a</i> sous le grand cylindre	0,012
Bouilleurs horizontaux	0,010
Id. verticaux { <i>b</i>	0,008
<i>b</i> ₁	0,005
Rondelles des joints des foyers	0,014

Les tubes *b*, contre lesquels s'appuie la cloison *K*, ont reçu un diamètre et une épaisseur plus considérables que les suivants.

Les constructeurs regardent la faible épaisseur des tubes verticaux comme favorable à l'échange rapide de température entre les gaz et l'eau ; il ne faut pas croire, cependant, que la chaleur transmise augmente en raison inverse de cette épaisseur, comme lorsqu'il s'agit de matières non conductrices. Ainsi que l'a fait remarquer Péclet, la quantité de chaleur qui traverse une tôle de chaudière dépend encore de la température que prend la face exposée aux gaz ; or, cette température est d'autant plus élevée que la tôle est plus épaisse. La transmission de la chaleur est donc à peu près indépendante de l'épaisseur, dans les limites de la pratique. Les véritables avantages des tôles minces, lorsque le faible diamètre des tubes les comporte, sont, d'abord, d'être moins altérées par les élaborations multiples auxquelles on les soumet à la forge ou à l'atelier de chaudronnerie, puis, une fois en place, d'être moins sensibles à l'action corrosive des gaz chauds, en raison même de la température relativement basse que conserve leur surface extérieure.

Il nous reste à donner, par quelques chiffres résultant des dimensions de l'appareil, une idée de son importance et des conditions dans lesquelles la chaleur y est utilisée.

La surface de chaque grille est de	1 ^{mq} ,35
Soit pour les deux foyers	2 ^{mq} ,70
Surface de chauffe totale	140 ^{mq} ,
Surface de chauffe réelle	80 ^{mq} ,
Rapport de la première à la seconde	1,75
Rapport de la surface de la grille à la surface de chauffe totale	1 : 52

Même rapport à la surface réelle	1:30
Capacité de la chaudière	24 ^{mc} ,720
Capacité du réservoir de vapeur	0 ^{mc} ,300
Volume moyen de l'eau	17 ^{mc} ,520
Volume moyen de la vapeur	4 ^{mc} ,500
Rapport du premier au second	3 ,9
Surface de chauffe totale par mètre cube d'eau	6 ^{mq} ,45
Surface moyenne de niveau	16 ^{mq} ,30
Surface de niveau par mètre cube d'eau	0 ^{mq} ,75
Surface de niveau par mètre carré de surface de chauffe totale	0 ^{mq} ,12
Longueur totale de l'appareil	8 ^m ,80
Largeur totale, y compris les murs latéraux	3 ^m ,58
Hauteur au-dessus du sol du chauffeur, y compris le remplissage supérieur	3 ^m ,75
Surface d'emplacement	31 ^{mq} ,50
Surface de chauffe totale par mètre carré d'emplacement	4 ^{mq} ,44
Surface d'emplacement par mètre carré de grille	11 ^{mq} ,66

Nous avons largement compté comme surface de chauffe réelle, celle des foyers, celle des bouilleurs verticaux, et toutes les parties de la surface des bouilleurs horizontaux exposées aux gaz, dans les chambres de combustion et d'utilisation. En arrivant à l'extrémité de celle-ci, les gaz se trouvent suffisamment refroidis pour qu'on puisse admettre que les bouilleurs du bas se comportent, dans le carneau C^2 , comme de simples réchauffeurs. Nous n'avons pas non plus considéré comme surfaces réellement chauffées, celles du corps cylindrique, des cuissards a et des viroles A , qui, sans être noyées dans les maçonneries, ne sont cependant pas rencontrées par le courant gazeux. On devra tenir compte de ces deux remarques dans l'appréciation de la surface totale d'emplacement exigée par l'appareil. Dans l'évaluation de cette surface, nous avons supposé l'appareil isolé, et les deux murs latéraux chacun d'une épaisseur de 0^m,450; mais lorsque plusieurs générateurs analogues sont accolés, comme c'était le cas à l'Exposition, les murs intermédiaires peuvent recevoir une épaisseur moindre, ce qui réduit un peu l'emplacement.

La section de départ des produits de la combustion, dans chaque foyer, au-dessus de l'autel, est de	0 ^{mq} ,30
soit, pour les deux foyers	0 ^{mq} ,60
et par mètre carré de grille	0 ^{mq} ,22

Tous les autres passages et carreaux ont reçu des dimensions beaucoup plus considérables. La section atteint plus de 4^{mq} dans la chambre d'utilisation. En raison de cet élargissement, et par suite de leur refroidissement progressif, les gaz y prennent une vitesse assez faible et décroissante; cette circonstance, et les remous produits par la rencontre des bouilleurs verticaux, favorisent encore l'abaissement de température. Enfin dans le carneau C^2 , les couches gazeuses supérieures, les plus chaudes par conséquent, cèdent encore un peu de chaleur aux bouilleurs B_1 . On voit que les pertes de calories, par suite de l'air qui peut passer en excès à travers la faible épaisseur de combustible, ou directement admis dans la chambre de combustion, ne sauraient être bien considérables.

La chaudière était timbrée à 6 kilos. Elle avait été étudiée pour fournir, par heure, environ 1,000 kilogrammes de vapeur, soit :

par mètre carré de surface totale de chauffe une vaporisation d'environ	7 ^k .
et par mètre carré de surface de grille	id.

On peut se demander quels avantages les constructeurs avaient en vue d'obtenir, en appliquant d'abord le principe du chauffage intérieur, pour l'abandonner aussitôt après les foyers, et se rapprocher des systèmes fondés sur la circulation rapide de l'eau. Il est même à remarquer que ces principes tout à fait différents, reçoivent leur application dans les parties de l'appareil où elle rencontre le plus de difficultés. C'est dans le foyer que des parois réfractaires auraient plutôt leur raison d'être, pour l'entretien de la combustion et la protection des tôles, c'est au contraire sur le parcours des gaz que les lames d'eau sont utiles, pour réduire la déperdition de la chaleur. En définitive, ce générateur, soumis à la fois aux sujétions qu'imposent les foyers intérieurs et aux inconvénients que présentent les carreaux en maçonnerie, ne semble pas devoir donner d'aussi bons résultats que les deux autres chaudières, beaucoup moins compliquées, du même groupe. De larges surfaces de maçonnerie en contact avec les gaz, sur les points où ces gaz ont les plus hautes températures, donneront lieu à des pertes de chaleur, par transmission ou rentrées d'air. D'autre part, la vapeur sera fournie dans des conditions un peu moins favorables, par suite de la réduction de la surface de niveau, et du volume de vapeur emmagasinée, pour une même étendue de surface de chauffe. Enfin l'entretien général, les nettoyages extérieurs et intérieurs deviendront plus difficiles, en raison de la forme moins simple de l'appareil et de la multiplicité des rivures qu'elle entraîne.

L'avantage que les constructeurs ont voulu réaliser, en modifiant le type ordinaire, est la diminution considérable du poids du générateur. Le corps cylindrique et les foyers, pour donner toute sécurité malgré leur grand diamètre ou leur position défavorable, exigent des tôles spéciales, d'une épaisseur exagérée. En les remplaçant sur la plus grande partie de leur longueur par un système de tubes minces, de diamètre beaucoup moindre et chauffés extérieurement, on arrive à un appareil plus léger, moins coûteux comme matière première, moins encombrant, enfin d'un transport et d'une installation plus faciles (1).

En comparant les planches I et II, on voit que le générateur figuré sur la première, qui n'abandonne pourtant les gaz qu'après un refroidissement suffisant, n'exige l'addition d'aucune chambre spéciale pour des réchauffeurs. On peut encore observer qu'une plus grande surface de chauffe par mètre cube d'eau, donnera lieu à une mise en pression plus rapide. Par contre, le fonctionnement régulier de la chaudière demandera un peu plus d'attention de la part du chauffeur. Les réparations y seront sans doute plus fréquentes, mais elles porteront généralement sur des pièces secondaires, faciles à remplacer.

2^e — Générateur à foyers intérieurs et à réchauffeurs.

Les deux autres chaudières fixes, exposées par MM. Chevalier-Grenier et Droux, étaient à foyers intérieurs, avec circulation des gaz, d'abord à l'intérieur, ensuite extérieurement, de chaque côté puis au-dessous du corps cylindrique. Avant d'être conduits à la cheminée, les gaz parcouraient encore une chambre latérale, dans laquelle étaient installés deux réchauffeurs.

Dans l'un de ces générateurs, les deux foyers débouchaient dans une chambre commune de

(1) La question du transport semble avoir surtout préoccupé MM. Chevalier-Grenier et Droux, qui, dans les générateurs du même type construits depuis l'Exposition, suppriment la virole conique A^1 et les huisards a , et relient simplement les bouilleurs horizontaux au corps cylindrique par de forts tuyaux en cuivre, ajustés sur place. Le poids indivisible est ainsi considérablement réduit ; le chargement sur wagons devient plus facile et le transport moins coûteux. On remarquera que cette disposition supprime, du même coup, les inconvénients de l'attache des bouilleurs avec le fond du corps cylindrique, et que l'application des tuyaux en cuivre laisse plus de liberté aux dilatations des diverses pièces.

combustion. Cette disposition, qui reproduit la plupart des inconvénients du foyer unique du *Cornouailles*, que l'on veut précisément éviter par le double foyer du *Lancashire*, ne paraît pas avoir eu beaucoup de succès en Angleterre, où elle a été essayée d'abord, ni en France. Nous avons préféré représenter, sur la planche II, le type le plus simple, couramment construit par la maison Chevalier-Grenier, et qui semble offrir une plus grande sécurité.

La figure 1, coupe longitudinale par l'axe de l'appareil, est trichée de manière à montrer l'intérieur de l'un des foyers. La figure 2 est une coupe en long de la chambre des bouilleurs; la figure 3 donne le plan général, à la hauteur des foyers. Les figures 4 et 5 sont des coupes transversales, faites, la première par le foyer, l'autre à l'arrière du générateur. On voit sur la figure 6, que les accessoires étaient disposés comme dans l'appareil précédent.

La forme de la chaudière se comprend à première vue. Le corps cylindrique *A*, de 2^m,230 de diamètre et de 8^m,000 de long, est traversé, dans toute sa longueur, par deux tubes-foyers horizontaux de 0^m,880 de diamètre. Leurs axes sont à 1^m,100 l'un de l'autre et à 0^m,200 au-dessous de celui du cylindre. Chacun d'eux se termine par une virole conique *c*, de 0^m,950 de longueur, dont le bord, rabattu en forme de bride, vient se fixer sur le fond d'arrière; cette conicité, rachetant la hauteur de la bride, facilite l'exécution du joint. L'attache sur le fond d'avant se fait par une cornière extérieure. Le foyer proprement dit *F*, est formé de trois viroles de 0^m,900 de longueur, dont le joint horizontal est soudé, et dont les joints transversaux sont formés, comme dans le générateur déjà décrit, en rivant les bords rabattus extérieurement de deux viroles voisines, avec une rondelle intermédiaire en tôle, sur le diamètre extérieur de laquelle se fait le matage. Les autres viroles du foyer sont rivées à la manière ordinaire (à clin, ou à recouvrement). Les rivures longitudinales du corps cylindrique présentent une double rangée de rivets.

Le corps cylindrique est en tôle n° 4 du Creusot, de 0^m,019 d'épaisseur. Les foyers ont 0^m,016; ils sont en tôle n° 5, ainsi que les fonds du cylindre. Ces fonds sont reliés au corps cylindrique par des goussets *a*. A l'avant, les trois goussets sont plus petits, pour permettre la dilatation du foyer; le fond est du reste raidi par des cornières *a'*. Nous avons déjà fait remarquer que les joints à bord, rabattu, outre l'avantage de mettre les rivets hors d'atteinte du feu, avaient encore celui de permettre une certaine dilatation du foyer, et de diminuer la pression qu'il exerce sur les fonds du cylindre. Au moment d'attacher les foyers, les constructeurs ont soin d'étayer les fonds extérieurement, de manière à leur faire prendre une légère concavité et réduire par suite leur bombement, lors de la mise en feu.

Chaque foyer est muni de portes *f* et *f'*, pour le chargement et l'enlèvement des cendres, présentant les mêmes dispositions que celles du type précédent (double-fond, ventouses à secteurs circulaires *f²*, ventouse inférieure à fenêtres verticales). La grille *G*, supportée par la sole *g* et les sommiers *g'*, a 1^m,500 de longueur; rappelons que les taquets sur lesquels s'appuient les sommiers, sont attachés par des vis ne traversant pas la tôle du foyer. Enfin un petit autel *H*, oblige l'air froid à traverser la grille, et retient sur celle-ci la couche peu épaisse de combustible.

La chaudière est encastrée dans le mur de front, qui a une épaisseur de 0^m,450; elle repose dans toute sa longueur, par des bandes d'appui d'une trentaine de centimètres, sur deux massifs inférieurs (fig.5) *k*. Ces massifs laissent entre eux un vide de 1^m,000 de largeur, et s'étendent jusqu'au mur latéral correspondant; ils se réunissent sous le générateur, contre le mur d'arrière, et s'arrêtent au contraire à 0^m,900 du mur de front. Un intervalle de 0^m,450 règne entre le mur du fond et la chaudière, et les extrémités du diamètre horizontal de celle-ci, sont respectivement à 0^m,250 des murs latéraux. De chacun de ces murs part une demi-vôûte venant s'appliquer contre le corps cylindrique, et supportant le remplissage en maçonnerie dans lequel est noyée la chambre de vapeur. On voit

que les gaz s'échappant des deux foyers achèvent leur combustion dans la partie C où ils se dilatent, viennent frapper le mur d'arrière, et reviennent latéralement par les carneaux C^1 ; ils descendant ensuite la rampe c^1 , passent sous la chaudière, et retournent vers le fond par le carneau C^2 . En quittant ce carneau, le courant gazeux conserve encore assez de chaleur pour qu'il soit utile de le faire passer, à travers le carneau c^2 , dans la chambre C^3 , où sont installés deux réchauffeurs b et b^1 . Cette chambre, de 4^m,000 de large et de 3^m,000 de haut, est parcourue en une seule fois par les gaz, que le carneau c^3 emmène dans le conduit général C^4 , allant à la cheminée. Dans le carneau c^3 se trouve un registre R semblable à celui du premier générateur, et manœuvré de la même manière.

Les produits de la combustion dans les deux foyers ne se mêlent que dans le carneau C^2 ; leur réunion, immédiatement à la sortie des tubes intérieurs, aurait pu exposer l'un des carneaux C^1 à n'être pas chauffé par le courant, si une circonstance quelconque (position de la cheminée, différence d'activité des grilles, etc.) tendait à entraîner la masse gazeuse d'un seul côté. Une murette k , s'élevant entre les deux ouvertures du fond, jusqu'à la voûte supérieure, oblige les gaz à rebrousser chemin en sens contraire, et prévient toute inégalité de tirage sur les deux grilles.

La circulation des gaz a lieu dans des conditions très favorables à la transmission utile de la chaleur; ces gaz sont entièrement enveloppés par des parois métalliques baignées d'eau, dans la partie de leur parcours où leur température est la plus élevée. Lorsqu'ils arrivent au contact des maçonneries, ils ne peuvent plus leur céder une grande quantité de chaleur. La déperdition par mètre carré sera plus considérable pour le mur du fond, rencontré le premier et perpendiculairement par le courant, et dont l'épaisseur n'est que de 0^m,350. Dans les carneaux C^1 et surtout dans le carneau C^2 , la position des parois du corps cylindrique est assez favorable au passage de la chaleur dans la chaudière.

On peut seulement reprocher au mode de suspension de celle-ci, de ne laisser aucun écoulement à l'eau qui pourrait provenir d'infiltrations ou de fuites par les rivures supérieures; cette eau, en s'accumulant entre les massifs k et le cylindre, finirait par dégrader ce dernier.

La vitesse du courant se ralentit dans la chambre C^3 et les gaz les plus chauds viennent envelopper le réchauffeur supérieur.

Les deux réchauffeurs sont encastrés dans les murs de front et d'arrière de la chambre, et se terminent à chaque bout par des fonds en fonte. Leur longueur totale est de 8^m,800, leur diamètre 0^m,600 et l'épaisseur de leurs viroles 0^m,010. Ils reposent, de distance en distance, sur des pièces de fonte transversales l , encastrées dans les murs latéraux. A l'avant, le réchauffeur du haut et le corps de la chaudière, portent, à leur partie supérieure, une tubulure terminée par une bride. Un fort tube en cuivre b , venant s'attacher sur ces brides, met en communication le réchauffeur B et la chaudière. Un tube analogue b^1 , fixé sur les deux fonds d'arrière des deux réchauffeurs, les relie l'un à l'autre.

L'alimentation se fait par celui du bas; l'eau, arrivant par l'embranchement E , traverse le clapet de retenue e , puis le clapet e^1 manœuvré par le volant e^2 , et pénètre dans le réchauffeur B^1 par son fond antérieur. Ainsi, elle circule d'abord dans ce réchauffeur, s'élève, par le tuyau b^1 , dans celui du haut, et le parcourt dans toute sa longueur, pour arriver, à travers le tuyau b , dans le corps cylindrique. Dans ce mouvement, elle rencontre des gaz de plus en plus chauds, et sa température s'élève suffisamment pour que la majeure partie des sels qu'elle renferme se précipite dans les réchauffeurs. Celui du bas est incliné de l'arrière à l'avant, l'extrémité antérieure se trouvant à une dizaine de centimètres en contre-bas de l'autre; le bouilleur du haut présente la même pente, mais de l'avant à l'arrière. Cette inclinaison a pour but de faciliter le passage de B^1 à B , et de ce dernier à la chaudière, de l'air qui était dissous dans l'eau, et de la vapeur qui peut se former dans les

réchauffeurs. L'entraînement des dépôts s'opère en sens inverse, jusqu'au robinet de vidange E^1 , placé à la partie inférieure du fond antérieur de B^1 . Le corps cylindrique porte également un robinet de vidange E^2 , au point le plus bas de son fond d'avant. Au-dessus de ce robinet, un trou d'homme, fermé par un autoclave T , permet de visiter la partie inférieure du corps cylindrique ; d'autres trous d'homme T^1 sont ménagés sur le fond antérieur des réchauffeurs, et à la partie supérieure du dôme de vapeur.

Ce réservoir D , exactement semblable à celui de la planche I, est installé immédiatement au-dessus des foyers ; cette position, la seule possible dans la chaudière précédente, présente l'inconvénient de rapprocher la prise de vapeur et l'indicateur magnétique de niveau des points de plus vive évaporation. La réunion des divers accessoires sur le chapeau du dôme a certainement l'avantage de simplifier leur installation et d'affaiblir beaucoup moins le corps cylindrique ; mais le primage ne peut être que favorisé par le voisinage des soupapes, et les ébullitions provoquées sous le dôme, par la levée accidentelle de ces soupapes et l'écoulement continu de la vapeur, doivent constamment fausser les indications du barreau aimanté.

On voit sur la figure 6, que les tubes de niveau et les manomètres sont disposés comme dans la chaudière à bouilleurs verticaux. Le fond antérieur est recouvert par une plaque en fonte P , et des chambranles p encadrent l'ouverture des foyers. Des regards fermés par des tampons o , sont ménagés sur les murs de front et d'arrière, de manière à permettre de visiter les différents carreaux. Des sections suffisantes données à ces carreaux et à leurs communications, offrent toute facilité à l'enlèvement des cendres entraînées par les gaz, et au nettoyage extérieur de la chaudière. On a eu soin aussi d'adoucir par des courbes les changements de direction du courant gazeux.

Nous donnerons, comme précédemment, les rapports principaux qui résultent des dimensions de l'appareil.

Surface totale de grille	2 ^{mq} ,58
Surface de chauffe du générateur	
intérieure	44 ^{mq} ,20
extérieure	30 ^{mq} ,00
totale	74 ^{mq} ,20
Surface de chauffe des réchauffeurs.	30 ^{mq} ,10
Surface totale de chauffe.	104 ^{mq} ,30
Rapport de cette surface totale à celle de la grille	40 ,4
Rapport de la surface de chauffe du générateur seul à celle de la grille	28 ,8
Capacité de la chaudière.	21 ^{mc} ,770
id du dôme de vapeur	0 ,300
id des réchauffeurs	4 ^{mc} ,980
Volume d'eau dans le générateur.	14 ^{mc} ,840
Volume total de l'eau	19 ,820
Volume de la vapeur.	7 ^{mc} ,23
Surface de chauffe totale par mètre cube d'eau	5 ^{mq} ,20
Surface moyenne de niveau.	16 ^{mq} ,00
Surface de niveau par mètre carré de surface totale de chauffe	0 ^{mq} ,15
Longueur du massif	8 ^{mq} ,80
Largeur id. en y comprenant la chambre des réchauffeurs.	4 ^{mq} ,98
Surface totale d'emplacement.	43 ^{mq} ,83
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement.	2 ^{mq} ,37
Emplacement par mètre carré de grille	17 ^{mq} ,00

Nous avons attribué à chaque grille, en raison de son inclinaison et de son attache à 0^m, 050 au-dessous de l'axe du foyer, une largeur moyenne de 0^m, 860 ; d'autre part, l'évaluation de l'emplacement se rapporte à celui exigé par un appareil isolé.

La chaudière, était timbrée à 6 kilos. Elle avait été installée, comme les deux autres, pour vaporiser environ 1,000 kilogrammes d'eau par heure, mais, à l'Exposition, les besoins du service exigèrent souvent une vaporisation de près du double.

Nous avons déjà fait remarquer que cette chaudière, d'une construction plus simple que celle à bouilleurs verticaux, ne devait pas donner lieu à des réparations fréquentes. Toutes les dispositions sont prises pour éviter autant que possible les déformations ; les brides des joints transversaux du foyer assurent sa résistance à l'écrasement ; les nettoyages extérieurs et intérieurs des tôles peuvent s'exécuter facilement. On sait combien ces nettoyages sont indispensables au point de vue de la sécurité et de l'utilisation de la chaleur. Lorsque la chaudière n'est pas surmenée, la précipitation des sels s'effectue surtout dans les réchauffeurs, et le corps principal est moins exposé à tous les inconvénients des dépôts. Le grand volume occupé par l'eau demande un peu plus de temps pour la mise en pression, mais le fonctionnement de l'appareil n'en est que plus régulier. Enfin la chaleur emmagasinée dans la masse d'eau et dans les maçonneries, permet de maintenir la pression pendant plusieurs heures d'arrêt, en fermant les portes des foyers et le registre ; la pression qui se conserve encore au bout d'une nuit, réduit notablement les frais d'allumage.

Comme dans tout générateur à foyer intérieur, il importe que l'alimentation suive toujours les variations de la dépense, et que le niveau de l'eau ne s'abaisse dans aucun cas jusqu'aux tubes ; d'autre part la couche de combustible ne doit jamais recevoir une grande épaisseur. Cette dernière précaution a pour but, non seulement d'épargner aux tôles les chances d'un coup de feu, mais encore de permettre le passage de la quantité d'air nécessaire à la combustion ; elle a d'autant plus d'importance dans le cas actuel, que la chambre d'inflammation, à la suite de chaque foyer, est assez restreinte, que les gaz n'y rencontrent aucune chicane opérant sur eux un brassage, enfin que la séparation des deux tubes, dans toute leur longueur, ne permet pas de compter sur le chargement alterné des grilles pour compléter la combustion. Une production plus abondante de fumée, et le départ dans la cheminée d'une plus forte proportion de gaz combustibles, seraient la conséquence immédiate d'un feu poussé trop vivement.

Toutes ces considérations indiquent que ce type de chaudière est particulièrement applicable aux grands ateliers, qui demandent une vaporisation considérable, continue, mais assez constante (par exemple pour desservir de puissantes machines motrices, à vitesse modérée) et dans lesquels on n'est préoccupé ni du poids des appareils, ni de l'emplacement qu'ils exigent.

Dans ces conditions, avec une alimentation régulière et un feu bien conduit, l'économie résultant d'une meilleure utilisation de la chaleur, par la circulation intérieure des gaz, couvrira rapidement le surcroit de frais d'établissement.

Avant de quitter ces générateurs, dont l'exécution matérielle révèle la longue tradition et l'outillage perfectionné des ateliers Chevalier-Grenier, nous dirons quelques mots de l'ensemble du groupe.

Les trois chaudières, accolées perpendiculairement au Palais, occupaient un rectangle de 110 mètres carrés. Le massif était recouvert par un léger abri vitré, à charpente métallique soutenue par des colonnes en fonte. Les fondations, les fourneaux et la cheminée avaient été construits par M. Vassivière fils, entrepreneur à Lyon. La cheminée sera étudiée dans la IV^e partie de cet ouvrage ; disons seulement qu'elle avait 31^m,20 de hauteur, et un diamètre au sommet de 0^m,950. Les murs principaux des chaudières reposaient sur des massifs en béton ; une couche de béton servait de première

assise à toute la construction. Sur cette couche, un carrelage en briques formait le fond des carreaux. Un carrelage en briques recouvrail également le remplissage enveloppant la partie supérieure des chaudières. Toutes les parois intérieures exposées aux flammes étaient, bien entendu, en briques réfractaires. Le massif était consolidé, près des angles, et de distance en distance sur les quatre murs, par des montants en fonte, renforcés par une forte nervure longitudinale. Ces montants étaient coudés à la partie supérieure, de manière à passer derrière une corniche en fonte encadrant tout le massif. Le tout était solidement relié par des tirants, serrés par des boulons y. L'extrémité inférieure des montants s'encastrait simplement dans le sol. Le plancher du chauffeur était au niveau du terrain; sur ce plancher métallique, neuf tampons q permettaient de visiter la fosse de 1^m000 de large, régnant sur toute la longueur du mur de front des chaudières. Dans cette fosse arrivait la conduite d'alimentation; une fosse analogue, le long du mur d'arrière, recevait la conduite de vidange du générateur à bouilleurs verticaux.

Bien que l'eau de la Seine soit relativement assez pure, les constructeurs avaient commencé à pratiquer la décomposition préalable du sulfate et du bi-carbonate de chaux, par l'addition de chlorure de baryum et de chaux. La précipitation du sulfate de baryte et du carbonate insoluble se fait dans de grands réservoirs en tôle. Au lieu de filtrer l'eau, ce qui exigerait beaucoup trop de temps, on opère par décantation; à l'intérieur du réservoir, un tampon flexible est emmanché dans la tubulure inférieure communiquant aux chaudières; l'extrémité libre du tuyau, soutenue par un flotteur, vient constamment puiser l'eau la plus pure à la surface. Ce mode d'épuration est évidemment très simple et très rationnel, lorsqu'il est possible, c'est-à-dire lorsque la vaporisation n'est pas trop considérable. Il ne fut pas longtemps praticable à l'Exposition, où l'alimentation dans les trois chaudières atteignait parfois 6 à 7000 kilogrammes par heure. Le passage trop rapide de l'eau à travers les réchauffeurs n'y permettant pas la précipitation de tous les sels, le corps principal, au bout des six mois, s'est trouvé notablement envahi par les incrustations.

CHAUDIÈRE A BOUILLEURS ET A RÉCHAUFFEURS, DE M. E. BOYER, A LILLE (NORD).

Le deuxième groupe de générateurs, à l'Exposition, était désigné par le nom du constructeur avec lequel l'Administration avait traité, pour la fourniture de la force motrice. En fait, les deux chaudières qui le composaient, sortaient des ateliers de M. P. Villette, à Lille. MM. Cordier ainé et fils se chargèrent de la construction des fourneaux et de la cheminée; celle de l'abri fut confiée à MM. C. Waaser et Bougleux.

Ces deux générateurs, de forme et de dimensions identiques, ne présentaient aucune disposition nouvelle; c'étaient de simples chaudières horizontales, du type à deux bouilleurs inférieurs, si répandu dans le nord de la France, et que les Anglais caractérisent du nom d'*éléphant*, d'après l'apparence de sa section transversale.

Pour ne pas laisser subsister de lacune dans l'étude des grands appareils de la section française, nous avons réuni, sur les planches II et III, les vues, plans et coupes relatifs au deuxième groupe. Nous espérons que cet exemple d'une installation récente d'un système très ancien, mais encore journellement appliqué, ne semblera pas trop déplacé dans un ouvrage consacré aux nouvelles chaudières.

Le corps principal *A*, de 1^m,200 de diamètre et d'une longueur de 8^m,000, terminé par des calottes sphériques, est tout entier à l'intérieur du massif de maçonnerie. Il se prolonge, à la partie antérieure, par un appendice cylindrique *a*, de 0^m,575 de diamètre et 1^m,150 de longueur, qui traverse le mur de front, et présente à l'extérieur un fond plat en fonte, sur lequel est installé le tube de niveau *N*.

Le corps *A* est relié à chacun des bouilleurs *B*, par deux cuissards *b*, de 0^m,350 de diamètre, sur 0^m,400 de hauteur. Le diamètre des bouilleurs est de 0^m,700 et leur longueur de 10^m,150, y compris les fonds qui viennent déboucher à travers les murs de front et d'arrière. Leur écartement d'axe en axe est de 1^m,000. Sur la cinquième virole du corps principal, c'est-à-dire à une assez grande distance du point de plus grande vaporisation, est installé le dôme *D*, formé d'un cylindre en tôle, de 0^m,700 de diamètre et 0^m,850 de haut, surmonté d'un chapeau en fonte portant quatre tubulures. Sur celle d'avant, est fixée la boîte de la valve de prise de vapeur, d'un diamètre intérieur de 0^m,115, manœuvrée par le petit volant *v*. Cette valve est mise en communication avec la conduite générale de vapeur, à l'aide d'un embranchement coudé *V*, qui vient reposer sur le massif des deux chaudières.

La tubulure d'arrière du dôme porte une soupape de sûreté *S*; une autre soupape est disposée sur l'indicateur magnétique *I*.

Dans une chambre latérale sont installés, l'un au-dessus de l'autre, deux réchauffeurs *B¹*, *B²*, de même diamètre et de même longueur que les bouilleurs. La distance d'axe en axe des réchauffeurs est de 1^m,300 à l'avant et 1^m,500 à l'arrière, c'est-à-dire qu'ils sont légèrement inclinés en sens inverse. Ils sont reliés l'un à l'autre par un cuissard unique, de 0^m,350 de diamètre et de 0^m,600 de hauteur, attaché sur la première virole d'avant de chacun d'eux. Contre le mur d'arrière du massif, un même tuyau met en communication les deux bouilleurs avec le réchauffeur supérieur, à l'aide de tubulures *e*, venant s'attacher à la partie inférieure du fond des bouilleurs et à la partie supérieure du fond du réchauffeur. L'introduction d'eau se fait par une tubulure analogue *e¹*, à la partie inférieure du réchauffeur du bas. Des trous d'homme, fermés par des autoclaves *T*, sont ménagés sur le dôme et sur le fond antérieur de chacun des bouilleurs et des réchauffeurs.

On voit que, sauf l'application des réchauffeurs, et l'addition de l'appendice *a*, la chaudière est la reproduction du type primitif, à deux bouilleurs. Nous ajouterons qu'elle était d'une construction assez soignée; elle présentait sur ses rivures longitudinales une double rangée de rivets. Voici les épaisseurs de tôles employées:

Corps principal	{	Cylindre	0,012
		Fonds	0 ^m ,0135
Dôme de vapeur			0 ^m ,011
Bouilleurs			0 ^m ,010
Réchauffeurs			0 ^m ,010
Cuissards			0 ^m ,011

Chaque bouilleur était supporté par trois chandeliers *L*, reposant sur des massifs en briques; un chandelier *L'* et des supports en fonte *l*, encastrés dans les parois de la chambre, soutenaient les réchauffeurs.

La grille *G*, portée par la sole *g* et un sommier encastré contre l'autel *H*, avait une longueur de 1^m,460, et une largeur de 1^m,300. Elle était composée de cinquante-deux barreaux, dont l'épaisseur, de 0^m,015 à la partie supérieure, diminuait jusqu'à 0^m,008; leur hauteur maxima était de 0^m,250. Des talons de 0^m,005 de chaque côté, laissaient entre les barreaux un vide de 0^m,010. La sole était à 0^m,800 au-dessus de l'enfer du chauffeur, et la grille présentait une légère inclinaison vers l'arrière.

La porte de chargement *f* était suspendue à la plaque de devanture *P*, et son ouverture était garnie d'un encadrement, traversant toute l'épaisseur du mur de front et venu de fonte avec la sole.

Le fond du cendrier, en forme de cuvette, recevait une petite couche d'eau.

La grille était placée au-dessous des bouilleurs; cette disposition a l'avantage d'assurer une plus grande hauteur d'eau au-dessus des tôles, directement exposées à la flamme; par contre elle donne lieu à une évaporation plus tumultueuse, en augmentant la distance que les bulles de vapeur ont à parcourir pour arriver à la surface. Un autre inconvénient du chauffage direct des bouilleurs, résultant des dépôts qui tendent à s'y accumuler, avait ici moins d'importance, la majeure partie de ces dépôts étant retenue dans les réchauffeurs.

Une voûte *k*, élevée d'une petite distance au-dessus des bouilleurs, obligeait les gaz à envelopper d'abord ces bouilleurs sur toute leur longueur. Au fond de ce premier carneau *C*, une ouverture

de 0^m, 980 sur 0^m, 800, réservé dans la moitié intérieure de la voûte, laissait monter le courant au-dessous de la chaudière.

Entre celle-ci et la voûte, une murette d'une brique k_1 interrompue à 0^m, 900 du mur de front, forçait les gaz à suivre le carneau C_1 , à passer sous l'appendice a , et à retourner vers le fond par le carneau C^2 , le long de la cloison k_2 séparant la chambre de la chaudière de celle des réchauffeurs. Cette dernière était divisée en deux compartiments C_3 et C_4 , par la voûte k_3 ; les gaz enveloppaient le réchauffeur du haut, dans leur retour vers l'avant, puis celui du bas, et s'en allaient par le conduit C_5 , à la cheminée. Ce long circuit dépoillait certainement les gaz de presque toute leur chaleur, mais exigeait un bon tirage.

On peut reprocher à ces nombreux compartiments la difficulté de les maintenir parfaitement étanches. La voûte k notamment, exposée au contact des flammes, peut subir des dégradations, surtout aux points où les cuissards la traversent, par suite de dilatations et contractions successives. Toute dégradation dans une cloison quelconque est d'autant plus fâcheuse qu'elle a pour effet immédiat de supprimer une partie de la circulation, et par conséquent d'envoyer des gaz plus chauds à la cheminée. Les carneaux C_1 et C_2 sont formés à leur partie supérieure par une demi-voûte qui vient s'appuyer sur la chaudière, un peu au-dessus de son axe.

Toutes les parois en contact avec les produits de la combustion étaient en briques réfractaires; au-dessus des parties voutées des carneaux C_1 , C_2 et C_3 d'autres voûtes en briques ordinaires soutiennent le remplissage en maçonnerie. Un matelas d'air est réservé au-dessus et sur toute la longueur du corps principal, qu'il est bon de recouvrir encore dans cette partie, d'une enveloppe quelconque non conductrice. Le réchauffeur B_1 est en partie noyé, vers le haut dans la maçonnerie; pourtant les produits de la combustion arrivent suffisamment refroidis dans le carneau C_3 , pour qu'il n'y ait rien à craindre de leur contact avec des tôles parcourues, intérieurement, par l'air et la vapeur qui ont pu se dégager dans les réchauffeurs. Sans doute les constructeurs ont voulu diminuer la déperdition de la chaleur, en empêchant les filets les plus chauds du courant gazeux de se porter contre la voûte.

On remarquera une autre disposition particulière à MM. Cordier, c'est la mise en communication du premier carneau C , avec une chambre inférieure Q , au moyen d'un grand nombre d'ouvertures transversales laissées dans la voûte K_1 , qui forme le fond du carneau. Les cendres entraînées par les flammes, au lieu de s'accumuler sur cette voûte, tombent dans la chambre Q , d'où il est facile de les extraire en démolissant la murette q . Quelques ouvertures plus larges c permettent de pénétrer dans le carneau C . Toutes ces précautions sont excellentes au point de vue de l'entretien, mais les nombreuses perforations de la voûte K_1 diminuent son rayonnement vers les bouilleurs et par suite l'efficacité du premier lit de flamme (flame bed), dont la hauteur, sous ces bouilleurs, est déjà très considérable. Le matelas d'air chaud qui remplit la cavité Q , étant soumis à une aspiration constante de la part du courant gazeux, on devra veiller à ce qu'aucune introduction d'air ne se produise par les parois. Sur le mur de front des regards fermés par les plaques de fonte o_2 , donnent accès dans les carneaux C_1 et C_2 .

Voici quelles étaient les principales proportions de la chaudière.

Surface de grille	1 ^{mq} , 90
Suface de chauffe de la chaudière	59 ^{mq} , 00
Surface de chauffe des réchauffeurs	42 ^{mq} , 00
Surface totale de chauffe	101 ^{mq} , 00
Rapport de la surface de chauffe des réchauffeurs à celle de la chaudière	0 , 7

Rapport de la surface de chauffe de la chaudière à celle de la grille	31
Rapport de la surface totale de chauffe à celle de la grille.	53
Capacité de la chaudière	17 ^{me} , 100
Capacité de dôme de vapeur	0 ^{me} , 300
Capacité des réchauffeurs	7 ^{me} , 800
Volume total moyen de l'eau	21 ^{me} , 200
Volume total de la vapeur	4 ^{me} , 000
Surface de chauffe par mètre cube d'eau	4 ^{mq} , 70
Surface moyenne de niveau	9 ^{me} , 50
Surface de niveau par mètre carré	0 ^{mq} , 09
Longueur du massif	10 ^m , 15
Largeur du massif isolé	4 ^m , 12
Hauteur au-dessus de l'enfer	3 ^m , 75
Surface d'emplacement	41 ^{mq} , 82
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	2 ^{mq} , 41
Surface d'emplacement par mètre carré de grille	22 ^{mq} , 00

La chaudière était timbrée à 5⁵, 5. Ses soupapes présentaient un diamètre intérieur de 0^m, 115, avec une largeur de recouvrement de 0^m, 002. L'indicateur de niveau Lethuillier-Pinel, à double sifflet z , avait une course de 0^m, 210; un manomètre Bourdon, avec robinet d'épreuve, était installé sur la devanture.

Le registre R se composait d'une simple plaque en fonte, suspendue à une chaîne qu'on pouvait manœuvrer depuis l'enfer, à l'aide de poulies de renvoi. Cette disposition très simple à l'inconvénient de laisser pénétrer constamment de l'air par l'ouverture que la plaque traverse, nécessairement avec un certain jeu. Cet air tend à augmenter la densité des gaz dans la cheminée et nécessite un supplément de tirage.

Nous nous permettrons une dernière observation relative à la largeur de la grille qui n'est que de 1^m, 300, et qui pourrait être augmentée utilement d'une vingtaine de centimètres de chaque côté, tout en conservant la même consommation de combustible. Au delà de 1^m, 700, largeur de la projection horizontale des deux bouilleurs, les pertes résultant de l'échauffement parasite des maçonneries dépasseraient le gain obtenu par une combustion plus complète des gaz pendant la période de distillation. Nous verrons plus loin, que MM. Cordier avaient pris des dispositions spéciales pour assurer la fumivoreté de l'appareil. L'inconvénient d'une grande grille avec une couche peu épaisse de charbon, c'est-à-dire le passage d'un excès d'air à travers ce charbon devenu incandescent, n'a plus d'importance du moment que les gaz sont suffisamment refroidis par des réchauffeurs. D'autre part, la réduction de la hauteur du feu permettrait de relever de la même quantité les barreaux, dont la distance aux bouilleurs est de 0^m, 450 à l'avant, et 0^m, 500 à l'arrière; par suite à la fois de cette extension de surface et de cette surélévation de la grille, son rayonnement serait un peu mieux utilisé.

Il est vrai que la conduite d'une grande grille exige plus d'attention de la part du chauffeur; or, la chaudière de M. Villette semble plutôt étudiée en prévision des plus déplorables conditions de surveillance et d'entretien. Que la grille reçoive de trop fortes charges et à de trop longs intervalles, que l'alimentation soit irrégulière, que les indicateurs et les appareils de sûreté soient hors de service, que le niveau s'abaisse jusque dans les carreaux, que même le corps principal se vide, ou que la pression s'élève bien au-dessus de celle marquée par le timbre, le générateur n'en continuera

pas moins à fonctionner, sinon dans d'aussi bonnes conditions, du moins sans péril immédiat. Les formes cylindriques de toutes ses parties, toutes pressées intérieurement, ses bouilleurs (pour lesquels la résistance est plus grande et la circulation d'eau plus active) recevant le premier choc des gaz, le corps principal mis à l'abri des flammes, le niveau normal reporté à plus de deux mètres au-dessus du feu, enfin l'énorme masse d'eau et de maçonnerie formant, en quelque sorte, *volant de chaleur*, et régularisant les variations de dépense ou de température, toutes ces circonstances concourent à rendre l'appareil moins dangereusement sensible aux négligences du service.

C'est là le grand avantage des chaudières à bouilleurs. On peut encore remarquer que la haute température maintenue dans le foyer par des parois en maçonnerie, permet l'usage des charbons les plus fumeux et même de combustibles tout à fait inférieurs, tels que les déchets d'usine ; enfin, à égalité de surface de chauffe, une chaudière à bouilleurs exige la même surface d'emplacement, un peu plus de maçonnerie, et des épaisseurs de tôle beaucoup plus faibles qu'une chaudière Lancashire. Le prix de la première sera donc bien moins élevé, et les réparations y seront moins coûteuses. Mais le rendement n'atteindra généralement pas celui de la seconde, les expériences de Mulhouse ne laissent aucun doute à cet égard.

Comme nous l'avons fait remarquer à propos du générateur Chevalier-Grenier, on peut obtenir dans un foyer intérieur, avec quelques précautions, une combustion suffisamment complète ; quant à l'utilisation de la chaleur dégagée, elle s'y opère dans des conditions incontestablement plus favorables que dans la chaudière à carneaux, soumise à une grande déperdition, par suite de parois inutilement chauffées et de l'appel d'air constant qui se fait à travers ces parois. La chaudière à bouilleurs reste le type le plus facile à installer et à conduire, lorsque l'emplacement exigé importe peu ; son application est tout indiquée, par exemple, dans les industries où le travail subit de grandes variations, suivant l'état du marché ; où, à certains moments, il s'agit de produire beaucoup et vite, même en surmenant les appareils, et sans s'occuper d'économiser le combustible. Généralement, en raison même de cette indifférence des frais de chauffage, les chaudières seront surveillées avec moins d'attention par l'industriel, et par suite, moins soigneusement entretenues et conduites par le chauffeur.

Mais dans tous les établissements où l'on voudra tenir compte de la consommation de charbon, surtout dans les centres industriels, c'est-à-dire à portée des ateliers de réparation, et où il est plus facile de recruter de bons chauffeurs, l'ancienne chaudière à bouilleurs, croyons-nous, fera place peu à peu à des types plus perfectionnés. Nous devons rappeler que, si elle court moins de chances d'éclater, elle tient aussi accumulée, dans son grand volume d'eau, une plus grande puissance destructive ; si par malheur, une explosion se produit, elle sera exceptionnellement désastreuse, on vient d'en avoir, tout récemment, un terrible exemple.

Dispositif fumivore de MM. F. Cordier et Fils.

Dans la chaudière de M. Villette, MM. Cordier obtenaient la fumivorité au moyen, non d'un appareil distinct, mais d'un ensemble de dispositions faisant partie de la construction même du fourneau. Le point de départ est toujours l'idée de Watt, c'est-à-dire l'injection d'air au-dessus de la grille, dont les expériences déjà anciennes de MM. Combes, Rolland, Williams, etc., etc., ont mis hors de doute l'efficacité pour prévenir toute production de fumée. Dans le système de MM. Cordier, l'air est porté à une haute température avant d'être admis dans la flamme.

On peut voir sur la figure 4 (planche IV), de chaque côté de la porte de chargement, des

ouvertures rectangulaires o^1 , de $0^m,400$ de haut sur $0^m,200$ de large. Derrière chacune d'elles aboutit un tuyau en poterie de $0^m,150$, placé au niveau de la grille, et qui se prolonge perpendiculairement au mur de front, dans toute la longueur du massif. Il est mis en communication, contre le mur d'arrière, avec un conduit analogue placé au-dessus, et qui revient derrière le revêtement réfractaire, jusqu'au foyer. L'air extérieur, appelé par le tirage, s'échauffe en circulant dans ces tuyaux, et vient déboucher par plusieurs tuyères, à une petite distance au-dessus de la grille. Une voûte K , établie sous les bouilleurs jusqu'à $0^m,500$ de l'autel, empêche les gaz qui se dégagent sur le devant de la grille, d'envelopper immédiatement ces bouilleurs. La couche de combustible est maintenue très épaisse dans toute la première partie de la grille, et diminue progressivement jusqu'à n'occuper que quelques centimètres au droit des tuyères ; le charbon, accumulé près de la porte subit donc une véritable distillation, avant d'être poussé vers l'autel. Comme l'indique la figure 1, de la planche III, la voûte K s'infléchit, en forme de réverbère, jusqu'à une trentaine de centimètres de la grille, au-dessus des tuyères. Les gaz enflammés sont ainsi obligés de venir lécher le coke incandescent, en même temps qu'ils sont frappés de chaque côté par des jets perpendiculaires d'air chaud.

Non seulement la fumivoreté est complète, mais on comprend que si le chauffeur a soin de conserver une grande épaisseur de charbon contre la porte, et de ne le faire avancer que peu à peu, la combustion demeure très égale. De cette manière, sont évités les brusques refroidissements qui se produisent, surtout avec de petites grilles, chaque fois que le combustible froid est chargé sur les charbons embrasés ; ici, les périodes de distillation et d'incandescence se confondent ; l'état du feu, la longueur des flammes, (qui, dans les foyers ordinaires, varie parfois du simple au triple, entre deux chargements) l'admission d'air, enfin tous les éléments qui concourent à la production et à la distribution de la chaleur, restent à peu près constants.

Au point de vue de la fumivoreté, les avantages de l'injection d'air au-dessus de la grille n'ont jamais été contestés ; mais cette injection était critiquée, au point de vue du rendement, en raison de la difficulté de la proportionner exactement aux besoins de la combustion. D'une part, il était difficile de compter sur l'intervention constante du chauffeur ; d'autre part, les appareils ingénieux imaginés pour régler automatiquement cette introduction supplémentaire, semblaient trop délicats pour entrer couramment dans la pratique. MM. Cordier et fils ont tourné la difficulté en se proposant de rendre aussi peu variable que possible la quantité d'air nécessaire sur la grille. L'idée n'est pas nouvelle, mais la solution paraît assez satisfaisante, et la haute température à laquelle l'air est porté, avant de venir brasser les gaz au contact même du feu, favorise certainement leur inflammation.

On peut craindre cependant que la chaleur concentrée dans cette région ne détermine des dégradations à la voûte K et à l'autel ; la hauteur de ce dernier est telle, que les tôles des bouilleurs semblent sérieusement menacées par les flammes ; il est vrai que la circulation de l'eau est très active immédiatement au-dessous du cuissard. Le rayonnement de la grille vers la chaudière est aussi diminué par la présence de la voûte et l'élevation de l'autel, mais la perte de chaleur utile qui en résulte est largement compensée par les avantages d'une combustion plus complète. Il faut d'ailleurs observer que le système de MM. Cordier devait se plier aux sujétions résultant des formes mêmes de la chaudière, et que sur un autre appareil il pourrait recevoir des dispositions encore plus favorables. La seule difficulté sérieuse est d'obtenir du chauffeur le maintien d'une forte couche de houille contre la porte, et d'une faible épaisseur de charbons ardents sous les tuyères. Quant aux petits registres mobiles devant les prises d'air o^1 , leur position ne doit être réglée que suivant la nature du combustible.

L'air qui alimente le dessous de la grille est également appelé par des ouvertures latérales o ,

placées au-dessous des premières (fig. 4, planche IV), et circule d'abord, comme l'indiquent les flèches pointillées (fig. 1, planche III), dans un double carneau ménagé dans toute la longueur du massif. Après s'être plus ou moins échauffé dans son parcours, il vient déboucher, par une ouverture de 0^m,400 de long sur 0^m,200 de haut, de chaque côté du cendrier, dont la porte f¹ est naturellement maintenue fermée.

L'emploi de l'air chaud, qui rend journellement de réels services dans les foyers métallurgiques, a été souvent essayé avec les foyers ordinaires, et bien des dispositions ont été proposées pour utiliser, à cet effet, la chaleur perdue par les maçonneries, ou emportée par les gaz dans la cheminée. Théoriquement, le chauffage préalable de l'air ne saurait être que très favorable à toute combustion ; mais en pratique, les inconvénients qu'il entraîne, notamment pour le tirage, peuvent compenser, et au delà, l'avantage résultant d'une élévation souvent insignifiante de température.

Ainsi s'expliquent les résultats contradictoires donnés par les expériences qui ont été exécutées à plusieurs reprises en Alsace, en Angleterre, et plus récemment par celles qui ont eu lieu à Rouen, sous la direction de M. Walter-Meunier. Ces dernières ont été faites sur deux chaudières à bouilleurs ; dans les deux cas, l'air s'échauffait en traversant un système de chicanes, installé sur le passage des gaz allant à la cheminée ; il était conduit au cendrier par un carneau, passant sous le premier lit de flamme. Sur l'un des générateurs, l'emploi de l'air chaud a donné une économie de plus de 15 0/0, sur l'autre, près de 10 0/0 de perte. Dans le premier cas, l'air se trouvait porté à une température voisine de 200° ; dans le second, il parvenait à peine à fondre la paraffine dans laquelle étaient plongés des thermomètres (1).

On conçoit que le rendement assez médiocre d'un générateur utilisant mal la chaleur du foyer, puisse être amélioré en récupérant, par le chauffage de l'air, une partie des calories

(1) L'emploi de l'air chaud est considéré comme défectueux, *à priori*, par quelques personnes qui raisonnent de la manière suivante : un mètre cube d'air froid renferme un plus grand nombre de molécules d'oxygène qu'un mètre cube d'air chaud, puisque ce dernier a une densité moindre ; donc il importe d'introduire de l'air aussi froid que possible ; c'est pour cela que les foyers fonctionnent mieux par un temps froid.

On est étonné que ce raisonnement spécieux soit admis, sans plus d'examen, dans certains ouvrages techniques. Pour en faire sentir l'inexactitude, il suffit de demander ce que deviennent les molécules d'oxygène ainsi expulsées par la dilatation de chaque mètre cube, car enfin, elles ont été admises par l'ouverture extérieure, où l'air arrive encore froid, et dont le débit ne dépend que de la différence de poids entre la colonne des gaz chauds de la cheminée, et une colonne d'air de même hauteur ; ce débit ne saurait être influencé par le fait que l'air est ensuite échauffé avant d'arriver à la grille, ou seulement en la traversant.

La vérité est que la quantité d'air, et par suite le nombre de molécules d'oxygène, qui passe sur un foyer, dans le même temps, est exactement la même, que cet air soit froid ou préalablement chauffé ; si dans ce dernier cas le volume est plus grand, la vitesse sera aussi plus grande. Si l'atmosphère devenait plus froide, la colonne d'air descendante devenant plus lourde, le tirage serait plus actif, que l'air fût ou non chauffé avant d'être admis dans le foyer. L'accroissement de vitesse que prend l'air chaud, peut, à la rigueur, augmenter un peu les frottements qu'il éprouve sur son parcours ; mais la véritable cause qui diminue le tirage, c'est la longueur même qu'il faut donner à ce parcours pour obtenir un échauffement appréciable, et non la dilatation.

En un mot, les choses se passent exactement comme dans une machine soufflante, et l'on sait qu'une telle machine ne dépense pas plus de force pour injecter dans un haut fourneau le même poids d'air chaud que d'air froid.

Il serait facile d'appuyer ces considérations par quelques calculs ; nous nous contenterons de rappeler les résultats des expériences citées plus haut. L'application de l'air chaud peut présenter divers inconvénients, démontrés seulement par la pratique ; si elle était défectueuse, *en principe*, par suite d'un vice inhérent à l'augmentation même de la température, comment expliquerait-on ce fait, que l'influence sur le rendement est d'autant moins satisfaisante que l'échauffement de l'air est plus faible ? Ce serait l'inverse qui devrait avoir lieu. On conviendra que, sur ce point, la comparaison des résultats obtenus sur les deux chaudières, ne peut laisser subsister aucun doute. Nous

perdues. Mais à mesure que la déperdition sera moins grande dans l'appareil, l'échauffement de l'air deviendra plus difficile, et l'économie à espérer décroîtra d'autant plus rapidement qu'elle devra être rapportée à un rendement plus élevé.

Du reste, lorsque les gaz s'échappent à une température trop haute, il est un moyen plus simple et beaucoup plus efficace pour récupérer une partie du calorique entraîné, c'est d'augmenter la surface de chauffe de l'appareil, par exemple en installant des réchauffeurs.

Dans le système de MM. Cordier, l'échauffement de l'air n'a pas réellement pour objet d'utiliser la chaleur perdue; il ne fait guère que restituer d'un côté, à l'appareil, ce qu'il lui a emprunté de l'autre. L'avantage résulte de ce que cette restitution a lieu précisément sur des points dont il importe surtout d'élever la température, afin de déterminer une combustion plus complète des gaz. Les conduits o^1 , placés le long du premier parcours des flammes, peuvent atteindre, et communiquer à l'air une assez haute température, mais il n'en est pas de même des conduits o , dont l'utilité semble par suite plus contestable.

L'ensemble des deux fourneaux, par son exécution soignée, constituait un véritable travail d'exposition. L'emplacement disponible formait un rectangle de 8 m , 24 sur 14 m , 30, entre les murs du bâtiment. Ces murs furent d'abord reliés, à 2 m , 50 environ du sol moyen extérieur, par une couche de béton de 0 m , 50, recouverte d'un carrelage en briques. Un emplacement de 3 m , 30 fut réservé à l'avant des chaudières pour l'enfer du chauffeur; on y descendait, depuis la porte, par un double escalier. Latéralement, les massifs des chaudières étaient isolés des murs par des intervalles de 0 m , 16, afin d'éviter les effets des poussées résultant des dilatations. A l'arrière, dans un passage de 1 m , 20, était installée la caisse à eau E , (planche III); la vapeur était amenée à l'injecteur J , par le tuyau W et par les branchements w , aboutissant aux dômes des deux chaudières. L'eau d'alimentation arrivait aux réchauffeurs par la conduite E^1 . Le charbon était accumulé, à l'autre extrémité du bâtiment, dans une soute Q^1 , pénétrant de 3 m , 00 sous le terrain; des regards, ménagés au niveau du sol, permettaient d'y faire tomber la provision journalière de combustible.

La cheminée, de 37 mètres de hauteur, présentaient un diamètre intérieur de 1 m , 570 à la base, et de 0 m , 875 au sommet. Nous l'étudierons plus loin.

ajouterons que, dans ces expériences, on a suivi pas à pas la méthode de la Société industrielle de Mulhouse, avec toutes les précautions et corrections qu'elle comporte. Les deux essais furent exécutés à l'usine de M. Rivière, le premier en avril 1875, (par MM. Walter-Meunier, ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, Correy, ingénieur de la maison T. Powell, H. Danvers, ingénieur des arts et manufactures, et C. Beretta,) le deuxième en avril 1876, (par les mêmes, avec le concours de M. H. Roland, ingénieur en chef de l'Association normande des propriétaires d'appareils à vapeur.

GÉNÉRATEUR DE MM. BELLEVILLE ET C^{IE}, A SAINT-DENIS (SEINE).

En présence du 3^e groupe de chaudières de la section française, et lorsqu'on songeait à ce que fut pendant de longues années le système Belleville, on ne pouvait se défendre d'un sentiment d'admiration pour l'inventeur, qu'aucune difficulté, aucun échec n'avaient découragé, et qui, à force de répondre à chaque objection par un perfectionnement, était arrivé à produire, non plus seulement d'ingénieux modèles, applicables, à la rigueur, dans certaines circonstances spéciales, mais de puissants appareils pouvant satisfaire à toutes les exigences de la grande industrie. C'est un fait acquis, qu'à l'Exposition, les générateurs Belleville, du type 1877, fournissaient aux classes 54 et 55 d'énormes quantités de vapeur, dans des conditions de régularité et d'économie tout à fait satisfaisantes. Mais avant d'atteindre ce brillant résultat, que de tâtonnements et de déceptions ! Il a fallu près de trente années d'études et d'expériences, poursuivies avec une rare ténacité, pour rendre possible la réalisation d'une idée contre laquelle la pratique soulevait sans cesse de nouveaux obstacles. Nous n'avons pas à refaire ici l'histoire des phases successivement traversées par le système Belleville, mais en rapprochant le point de départ de l'étape actuelle, nous donnerons une idée de la distance parcourue, peut-être même de la direction qui sera encore suivie.

Dans ses premiers essais, qui remontent à 1850, M. Belleville s'était proposé d'obtenir une vaporisation instantanée, exactement proportionnée à la dépense. Pour cela, il injectait un filet d'eau, par un orifice capillaire, dans des tubes horizontaux, communiquant entre eux et maintenus à une haute température ; la pression de la vapeur qui remplissait les tubes, devait régler l'admission de l'eau. On voit immédiatement les avantages de cette disposition : plus de ces grands réservoirs d'eau, exposés à de désastreuses explosions, mais de simples réservoirs de vapeur, dont le diamètre réduit permettait l'emploi des pressions les plus élevées. On voit aussi le danger qui menaçait des surfaces métalliques et sèches, en contact direct avec les flammes : les premiers tubes en fonte, de diverses épaisseurs, les tubes à gaz qui les remplacèrent, enfin les tubes spéciaux anglais, dont l'importation ne fut possible qu'à partir de 1856, tous furent successivement brûlés, et l'inventeur dut abandonner le principe de la vaporisation instantanée. Se jetant dans une autre voie, il essaya d'appliquer la circulation continue de l'eau dans un serpentin, déjà tentée dans la chaudière Isoard. Les formes et les dispositions du serpentin furent variées de mille

manières, mais toujours les mêmes inconvénients se manifestaient : formation de poches de vapeur, projections d'eau, destruction des parois rongées par le feu, enfin, une assez médiocre utilisation de la chaleur. Deux, puis trois serpentins furent combinés simultanément, mais comme ils étaient placés différemment par rapport au foyer, leur vaporisation devenait très inégale. Enfin, après plusieurs années d'essais infructueux, M. Belleville, renonçant à la circulation continue, adopta en 1859 des éléments distincts, séparément alimentés, et semblablement chauffés, c'est-à-dire qu'il revint précisément à son point de départ. Là était la solution.

En reconnaissant par expérience tous les désavantages qui résultent, dans un long circuit, de la distribution irrégulière de la température et de la présence trop longtemps maintenue dans l'eau, des bulles de vapeur déjà formées, l'inventeur devait être amené logiquement à décomposer le serpentin unique en un certain nombre de tronçons, n'offrant à l'eau que la longueur de parcours à partir de laquelle l'accumulation des bulles exigeait le dégagement de la vapeur.

Pour que ce dégagement fût aussi régulier que possible, la température sur le parcours devait être continue, c'est-à-dire graduellement croissante ou décroissante, et la nécessité de protéger par la présence de l'eau les parties les plus exposées au feu imposait naturellement ce dernier mode de variation.

Ainsi, chaque élément fonctionnerait comme un petit générateur isolé, recevant l'eau par son extrémité la plus chauffée, ses parois s'éloignant progressivement de la source de chaleur. Quant au mode de groupement de ces éléments, il importait, tout en cherchant à bien utiliser la chaleur du foyer, de les placer tous dans des conditions identiques d'alimentation et de chauffage, afin d'égaliser leur vaporisation.

Ces conditions, M. Belleville les a remplies, dans les divers types imaginés par lui depuis 1859, d'abord en composant chaque élément d'un même nombre de tubes, de même longueur, placés les uns au-dessus des autres, et reliés deux à deux par des boîtes de raccordement, de manière à former une sorte de serpentin vertical ; puis en disposant tous les éléments, l'un à côté de l'autre, au-dessus de la surface de la grille ; enfin, en mettant chacun d'eux en communication avec deux récipients collecteurs, l'un à la partie inférieure, amenant l'eau d'alimentation, l'autre à la partie supérieure pour recevoir la vapeur dégagée.

Le problème de la génération exclusive de la vapeur dans des capacités offrant partout une section assez restreinte pour rendre impossible une explosion en masse, était résolu, mais, comme dans toute solution qui ne tient compte que de l'un des éléments du problème, toutes les difficultés se trouvaient reportées sur les autres éléments. Le faible volume d'eau renfermé dans l'appareil rendait le niveau et la pression beaucoup trop sensibles aux moindres variations dans la dépense de vapeur ou la température du foyer. Un moment de négligence de la part du chauffeur, un retard dans l'alimentation exposait les tubes à se vider complètement, et à rougir ; cette alimentation se faisant à la partie inférieure, c'est dans la région la plus exposée au feu que les dépôts tendaient à s'accumuler ; enfin la circulation imposée aux bulles de vapeur avant leur séparation déterminait un entraînement d'eau considérable.

Régler automatiquement, suivant les besoins de la dépense, à la fois l'arrivée d'eau et le tirage, c'est-à-dire l'activité de la combustion ; débarrasser l'eau de la majeure partie de ses impuretés avant de l'introduire dans les tubes, tout en se ménageant la facilité de nettoyer au besoin, l'intérieur de chacun de ces tubes ; supprimer le primage par l'interposition d'un réservoir de vapeur, et en consacrant une longueur suffisante de parcours tubulaire au séchage de la vapeur, telles sont les principales améliorations que MM. Belleville et C° se sont appliqués à réaliser, par des dispositions témoignant d'un esprit inventif véritablement remarquable.

Ces dispositions ont été successivement perfectionnées dans les modèles 1868, 1872 et 1877; il suffira de décrire le type dans lequel elles atteignent actuellement leur plus haut degré d'efficacité.

Modèle 1877.

La planche V représente l'ensemble de l'un des trois générateurs exposés par la maison Belleville, en 1878. Les principaux accessoires sont figurés, à une plus grande échelle, sur la planche VI, qui donne aussi l'installation du groupe des trois générateurs fixes, de 100 chevaux chacun (en comptant 20 kilogrammes d'eau vaporisée par heure et par cheval).

On peut distinguer dans l'appareil (planche V), neuf parties dont les fonctions sont essentiellement différentes :

1^o *Les éléments générateurs A*, ou serpentins verticaux, disposés longitudinalement au-dessus de la grille.

2^o *Le tube-collecteur d'alimentation L*, placé sous la partie antérieure des éléments.

3^o *Le cylindre-collecteur de vapeur D*, disposé transversalement au-dessus des éléments, et dans lequel l'eau d'alimentation se sépare d'une partie des sels dissous.

4^o *Le récipient-déjecteur J*, que traverse l'eau venant du cylindre D, avant d'arriver au tube collecteur, et dans lequel elle dépose les matières en suspension.

5^o *Le sécheur de vapeur W*, formé d'une série de tubes, et installé sous la couverture du générateur.

6^o *Le régulateur automatique d'alimentation et de niveau d'eau N*, entre la conduite E et le cylindre D.

7^o *Le régulateur automatique de combustion et de pression R*, commandant le registre R₁.

8^o *Le foyer F*, dont la grille est à barreaux ondulés.

9^o *L'enveloppe en fer et briques, munie de portes P*, à la partie antérieure.

Le nombre et les dimensions des éléments générateurs A, varie naturellement suivant l'importance de l'appareil; chacun d'eux est formé d'un même nombre de tubes a, assemblés au moyen de boites de raccordement B. De chacune des boites d'arrière partent deux tubes inclinés, de la même quantité, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de l'horizontale; en empilant un certain nombre de fourches semblables, on obtient deux plans parallèles de tubes inversement inclinés; enfin en raccordant, par les boites d'avant, chaque tube de gauche d'une fourche avec le tube de droite de la fourche immédiatement supérieure, qui descend au même niveau, on arrive à former une seule ligne brisée, figurant une sorte de spirale très aplatie. La rampe constante que présente cette spirale (cinq centimètres par mètre environ), favorise la circulation de l'eau et de la vapeur dans les tubes, et diminue les variations d'étendue de la surface de niveau.

Le générateur de 100 chevaux comporte six éléments, d'une longueur de 2^m,400, et composés chacun de neuf fourches. Les tubes sont en fer de qualité supérieure; ils sont soudés à recouvrement sur mandrin. Leur longueur est de 2^m,100, leur diamètre 0^m,125; l'épaisseur est de 0^m,007 pour les deux rangs inférieurs, et de 0^m,005 pour les autres. On voit que leur résistance doit être considérable; avec l'épaisseur de 0^m,005, la charge du fer par millimètre carré, pour une pression de 20 et 5 kilogrammes par centimètre carré, est de 2^k,300 et 0^k,575.

Les boites de raccordement sont en fonte malléable, moins exposée aux ruptures par suite de brusques dilatations. L'épaisseur courante est de 0^m,010; elle est de 0^m,012 pour les boites inférieures B₁, qui réunissent, à l'avant, les trois premiers tubes. Ces boites B₁, de dimensions plus

grandes, donnent plus de stabilité et d'assise à la base de l'élément, en même temps qu'elles protègent la partie inférieure des portes P , contre le rayonnement du foyer. Elles viennent s'appuyer sur le collecteur d'alimentation L , avec lequel chacune d'elles est mise en communication par un petit tube b_1 (fig. 5) de $0^m,050$ de diamètre. Le joint de la boîte et du tube b_1 est à *emmarchement conique*. Cet assemblage imaginé par M. Berendorff, pour ses tubes amovibles, ne nécessite aucune interposition de mastic ou de caoutchouc ; il rend le démontage très facile. Les boîtes simples B^2 à l'extrémité supérieure des éléments, sont rattachées par des joints semblables aux tubulures A^1 , vissées sur le cylindre collecteur D . Les joints sont, bien entendu, serrés par des boulons. Quant au raccordement des tubes avec les boîtes, les constructeurs ont pensé que les joints coniques n'étaient pas applicables à des pièces exposées directement au feu, le déplacement des axes des deux cônes, par suite de dilatations inégales, pouvant déterminer des fuites entre les deux surfaces, ou tout au moins des dépôts rendant très difficile ensuite la réfection des joints secs. Ils ont préféré adopter pour l'emmarchement des tubes, le *joint à vis*, enduit de mastic gras, assujetti par des manchons et des contre-bagues à faces bien dressées. Un pareil joint est évidemment d'une solidité et d'une étanchéité à toute épreuve, mais au bout de peu de temps il devient difficile de le démonter ; on est obligé de couper les manchons et les bagues au burin. On remarquera que les joints coniques par lesquels chaque élément est rattaché aux deux collecteurs, c'est-à-dire, ceux que l'on a le plus souvent occasion de démonter, sont placés à l'abri du feu et des variations brusques de température.

Les éléments génératrices s'appuient, à l'arrière du fourneau, sur un sommier h_1 , qui repose sur une console en maçonnerie, soutenue par deux voûtes au-dessus de la grille. Les boîtes de raccordement portent à leur partie supérieure deux petits taquets h^2 , venus de fonte avec elles, entre lesquels viennent se placer exactement des taquets analogues, situés au-dessous de la boîte immédiatement supérieure ; cette disposition assure la verticalité de l'élément et prévient tout déplacement latéral des fourches.

Pour permettre le nettoyage intérieur des éléments, des ouvertures de $0^m,068$ de diamètre sont ménagées dans les boîtes d'avant, concentriquement à chacun des tubes. Ces ouvertures sont fermées par un bouchon extérieur b , appliqué contre la boîte, au moyen d'un boulon à ancre, en acier forgé du Creusot, d'un diamètre de $0^m,022$. Le choix du métal et son épaisseur avaient une sérieuse importance, l'usure du pas de vis ou la rupture du boulon, et par suite le départ du bouchon, pouvant amener de graves accidents. Les constructeurs ont pu éprouver des éléments génératrices, à la presse hydraulique, jusqu'à 60 atmosphères, sans déterminer ni déformations, ni fuites.

Des bouchons de visite du même genre l , sont disposés sur la longueur du tube-collecteur d'alimentation L . Ce tube, de section rectangulaire, est en fer forgé ; sa longueur est de $1^m,955$, sa largeur de $0^m,125$ et sa hauteur $0^m,135$; ses parois ont $0^m,012$ d'épaisseur. Il repose sur l'encadrement des portes du foyer, et des cornières encastrées dans les maçonneries latérales.

Passons à la description du *cylindre-collecteur D*, dans lequel la vapeur des divers éléments arrive par les tubulures A^1 . Ce cylindre (représenté à une plus grande échelle, en coupes longitudinale et transversale, sur la planche VI, figure 4) est en tôle de $0^m,012$ d'épaisseur. Sa longueur est de $2^m,090$ et son diamètre de $0^m,500$; ses deux fonds ont une épaisseur de $0^m,014$.

Il ne remplit pas seulement, dans l'appareil, le rôle de réservoir de vapeur, mais encore celui d'*épurateur de vapeur et d'eau d'alimentation*. A cet effet, il est muni intérieurement d'une cloison cylindrique, formée d'une feuille de tôle attachée par l'un de ses bords à la partie inférieure du cylindre, suivant une génératrice, et repliée sur elle-même, de manière à laisser entre elle et la

paroi, un espace annulaire a ; l'autre extrémité de la feuille vient s'appuyer à angle aigu, contre la partie supérieure de la paroi, et présente sur toute sa longueur des échancrures bordées de cornières, formant une série de gouttières a' . Ainsi, la vapeur est d'abord admise dans le conduit a , et n'arrive dans la partie centrale du cylindre qu'en passant à travers les échancrures de la cloison. La forme circulaire du conduit et la vitesse avec laquelle la vapeur le parcourt, déterminent, dans cette vapeur, la séparation des particules liquides ou solides qu'elle a pu entraîner. On conçoit en effet, que sous l'action de la force centrifuge, ces particules plus denses tendront à s'accumuler vers la courbure extérieure du conduit, et qu'elles suivront la paroi du cylindre, pendant que la vapeur se répandra librement à l'intérieur.

Ce mode d'épuration est certainement ingénieux, mais son efficacité dépend de la rapidité du dégagement de la vapeur, et de la masse relative des vésicules d'eau ou autres corps étrangers qu'elle peut contenir ; c'est-à-dire que le degré de pureté de cette vapeur est fonction, s'il est permis de s'exprimer ainsi, d'une foule de circonstances variables indépendantes, telles que : la valeur de la dépense, l'activité de la vaporisation suivant l'état de la grille, la hauteur du niveau, la nature de l'eau employée, etc. Aussi les constructeurs ont-ils multiplié les précautions, pour obtenir une épuration aussi complète que possible. D'abord, entre le cylindre-collecteur et la valve de prise de vapeur, ils ont interposé le sécheur W . De plus, la communication entre ce sécheur et le collecteur n'est pas établie directement, mais par l'intermédiaire d'un tube diviseur b , installé dans la partie supérieure du cylindre, et dont les orifices d'admission c , sont tournées vers le haut.

b
X

L'emploi d'un tube diviseur a encore l'avantage d'égaliser la production des divers éléments ; une prise de vapeur unique, par exemple à l'une des extrémités du cylindre, eût concentré la vaporisation dans les éléments placés de ce côté ; il en serait résulté, entre autres inconvénients, une augmentation sensible du primage.

On voit, sur la même figure 4, que l'eau d'alimentation est injectée dans le collecteur, par la tubulure e_2 , vissée à la partie inférieure de l'un des fonds. Cette eau vient s'étaler au-dessus de la cloison, et s'écoule à l'autre bout du cylindre, par le tuyau D_1 . La couche mince de liquide, circulant avec une vitesse ralentie, entre la tôle frappée par la vapeur et cette vapeur même revenue au-dessus de la surface, est rapidement portée à une température suffisante pour précipiter le carbonate et même le sulfate de chaux. Ces sels, en suspension dans l'eau, sont emportés avec elle au déjecteur, ainsi que les gouttelettes et les impuretés abandonnées par la vapeur sur la paroi du cylindre. Le contact de la nappe d'eau relativement froide, favorise d'ailleurs l'épuration de la vapeur ; ce sont en effet les molécules les plus denses qui s'y précipitent, celles qui conservent le plus longtemps leur vitesse tangentielle, au sortir des échancrures de la cloison. Sur toute la longueur de cette dernière, une lame retenue par des cornières (fig. 4, vue de côté) est destinée à dévier le courant de vapeur, et à prévenir tout entraînement d'eau le long de la tôle, jusqu'aux orifices du tube diviseur. Pour compléter la description du collecteur, nous signalerons les tampons autoclaves d , ménagés sur ses deux fonds ; l'obturateur d_1 , contre lequel se brise le jet d'eau froide, la cornière d^2 raidissant l'autre fond du cylindre, enfin le joint à emmanchement conique et boulon central, entre le diviseur c et la tubulure w , communiquant au sécheur.

Un tuyau J_1 , en fer étiré, de $0^m,005$ d'épaisseur, d'un diamètre de $0^m,100$ et d'une longueur de $2^m,050$, amène l'eau, du collecteur au récipient déjecteur J . Ce dernier est simplement un cylindre en tôle de $7^m/m$, de $0^m,250$ de diamètre et de $1^m,000$ de long, attaché verticalement à la devanture, et relié à sa partie supérieure, par la tubulure L_1 , au collecteur d'alimentation L (planche V). Il semblerait utile que le tuyau J_1 se prolongeât à l'intérieur du récipient, au-dessous de la tubulure d'appel L_1 . Grâce à la diminution de vitesse dans ce récipient, les impuretés entraînées par l'eau

se concentrent à la partie inférieure, d'où elles peuvent être extraites journallement, à l'aide du robinet de vidange *j*. Le déjecteur est en outre muni d'un bouchon de visite *j*.

En quittant le cylindre collecteur, la vapeur passe dans le sécheur *W*, c'est-à-dire dans un serpentin formé de 12 tubes de fer, de même diamètre et de même épaisseur que ceux des éléments, et reliés d'une manière analogue par des boîtes de raccordement. Ce serpentin forme sur le passage des gaz allant au registre, un rectangle horizontal de 2^m,100 de long et de 2^m,000 de large, légèrement cintré pour mieux utiliser la chaleur. Il est suspendu par des frettes et des boulons *w*₁, à la couverture métallique de l'appareil.

L'alimentation du générateur a été l'objet d'une étude spéciale de la part de MM. Belleville et C^{ie}. L'eau arrivant par le tuyau *E*, traverse d'abord une boîte à crêpine *e*, et un robinet gradué *e*₁, dont le degré d'ouverture indique le volume introduit dans l'appareil (en supposant que la pression dans la conduite soit connue, et que l'intérieur de cette conduite soit maintenu dans un état suffisant de propreté). Avant de passer du tuyau *E*₁ au tuyau *E*₂, et de là par la tubulure *e*₂ dans le cylindre collecteur, l'eau rencontre une valve *i*, manœuvrée par le *régulateur automatique d'alimentation*.

Cet organe n'est autre chose qu'un flotteur mobile dans le récipient *N*₁, qui est mis en communication à la fois avec l'eau et la vapeur de l'élément voisin, par les tuyaux *n* et *n'*. Il est représenté en détail sur la planche VI. On voit sur la figure 6, que le flotteur *I* agit sur l'extrémité d'un levier *L*, installé dans l'intérieur du récipient, et dont l'autre bras vient s'appuyer contre un poinçon vertical *L*₁. Ce dernier, mobile dans un presse-étoupe, est attaché à l'extérieur à un autre levier *l*, auquel est également suspendue, immédiatement au delà du point fixe, la soupape *i*, qui s'ouvre en descendant. Tous les détails de cette soupape peuvent être facilement compris, à l'aide de la figure 7. Le levier *l* est relié, à son extrémité opposée, à un ressort *l*₁, dont l'action est complétée par un contrepoids *l*₁. Ce contrepoids est formé de rondelles mobiles, dont on peut faire varier le nombre.

Ainsi le poinçon pèse constamment sur le levier *L* qui tend à le soulever lorsque le flotteur descend; c'est-à-dire que la position en quelque sorte normale de la soupape d'admission d'eau, est d'être fermée; elle s'ouvre à mesure que le niveau descend dans l'appareil. On doit évidemment régler le contrepoids, de manière que l'effort que le flotteur doit développer pour le soulever, ne soit pas trop considérable. Peut-être semblerait-il plus logique que la position normale de la soupape, sous l'action seule du contrepoids, fût d'être ouverte; dans l'hypothèse d'un dérangement survenant au régulateur, une alimentation inopportunement présenterait moins de danger que la suppression de l'eau dans les tubes. Mais si pareil cas se présentait, il suffirait d'ouvrir la soupape, en soulevant le contrepoids, et de régler l'admission d'eau par le robinet gradué. La simplicité et l'exécution soignée du mécanisme rendent, du reste, fort improbable un tel accident.

On remarquera le mode de suspension du levier *L*, à l'aide du couteau d'acier *e*, ainsi que la transmission du mouvement au poinçon par l'intermédiaire d'un galet. Ces précautions, destinées à diminuer les frottements et augmenter la sensibilité de l'appareil, sont d'autant plus utiles, que des articulations, placées au milieu de la vapeur, n'auraient pu être visitées, ni lubrifiées.

Le point fixe du levier *l* est pris sur une tige vissée à la partie supérieure de la colonne du régulateur; à celle-ci est encore attachée la boîte de la soupape, ainsi qu'un sifflet avertisseur, visible en *Z* sur la figure 4 de la planche V. A la hauteur du flotteur est fixé un tube de niveau, muni de ses robinets; enfin, sur le fond inférieur se trouve un robinet de purge *n*₂.

D'après les constructeurs, le régulateur fait varier l'alimentation non seulement avec les besoins de la dépense, mais encore avec l'état de la vapeur.

13

« En effet, font-ils remarquer, suivant que la vapeur en circulation dans un élément contient une proportion d'eau plus ou moins grande, la résistance à l'écoulement, et par suite la perte de charge, augmente ou diminue, en raison de la variation de la densité moyenne. Le niveau apparent dans la colonne surpassé donc le niveau réel dans l'élément, de la hauteur qui représente cette perte de charge. Par suite, la différence des deux niveaux augmente ou diminue avec la proportion d'eau contenue dans la vapeur, et l'alimentation varie en sens contraire, jusqu'à ce que la diminution ou l'augmentation du niveau dans l'élément ait ramené la vapeur à l'état primitif. »

On voit qu'il s'agit en réalité d'une correction apportée suivant l'état de la vapeur, à la sensibilité du régulateur, dont les mouvements cependant, suivent toujours ceux du niveau. Nous trouvons dans les considérations qui précèdent, l'explication donnée par MM. Belleville à un fait qu'ils ont dû, sans doute, constater d'abord expérimentalement. Avec le secours du seul raisonnement, il semble assez difficile de prévoir ce qui devra se passer, à chaque instant, dans les tubes.

La différence entre les niveaux dans la colonne et l'élément est liée à une foule de circonstances, qui tendent à la faire varier en des sens opposés lorsque le primage augmente; elle dépend de la perte de charge de la vapeur, depuis le point où elle se forme jusqu'à celui où vient la prendre le tuyau n_1 , qui l'amène dans la colonne; de la perte de charge de l'eau en circulation dans l'élément, depuis la partie inférieure jusqu'au niveau; des températures de l'eau et de la vapeur, un peu différentes dans l'élément et dans la colonne; de la proportion des bulles de vapeur que renferme l'eau dans les tubes, et qui ont pour effet de diminuer sa densité et d'augmenter la hauteur du niveau, etc.

Comment reconnaître, *à priori*, quelle sera la résultante de toutes ces influences superposées? Considérons la première que les constructeurs regardent comme prépondérante; la perte de charge due à la circulation de la vapeur dans l'élément varie suivant la densité moyenne, et aussi suivant la vitesse. Lorsque l'entraînement d'eau résulte d'une activité plus grande de l'ébullition, la vitesse d'écoulement augmente, ainsi que la hauteur du niveau dans la colonne. Toutefois, cette vitesse pourrait augmenter sans qu'il y eût primage; elle peut même varier en sens inverse. Qu'une combustion trop vive coïncide, par exemple, avec une réduction notable du niveau, et la vapeur, tout en se produisant en abondance, se dessèchera mieux dans les tubes; sa densité diminuera à mesure que croîtront son volume et sa vitesse; or cette dernière entre au carré dans l'évaluation de la perte de charge.

Nous ne sommes entrés dans ces considérations qu'afin de mieux faire sentir la nécessité, pour régler le fonctionnement de l'appareil, d'agir à la fois sur le niveau de l'eau et sur l'activité de la combustion. Cette dernière fonction est remplie par le *régulateur automatique de pression*, actionnant le registre.

L'idée d'employer comme moyen de réglage la pression même de la vapeur, s'est naturellement présentée à l'esprit de M. Belleville, dès ses premières tentatives. L'appareil auquel il s'est arrêté est représenté à la figure 5 de la planche VI. Il se compose d'un récipient en fonte A , dans lequel est suspendu un ressort C , formé par la superposition d'un grand nombre de disques tronc-coniques en acier, placés alternativement sur la petite base et sur la grande. Une rondelle de caoutchouc, interposée entre les disques, assure l'étanchéité du joint. Le ressort repose sur une pièce vissée à l'extrémité d'une tige D qui traverse le couvercle B , boulonné sur le récipient. La tige D se meut à frottement doux à l'intérieur d'un guide E , fixé dans le trou du couvercle. Elle agit à l'extrémité r du levier de commande du registre, par l'intermédiaire d'une chape à vis G . Une fenêtre longitudinale permet de lire, sur une échelle graduée, la longueur

dont la chape est vissée sur la tige. Le levier r est fixé au support F , qui sert aussi de guide à la chape. Celle-ci est attachée au levier à l'aide d'une clavette H .

Le couvercle porte deux robinets b et v_1 ; le premier communiquant avec l'atmosphère est toujours fermé, en marche; le second est relié par un tuyau v_1 , (Voir planche V, fig. 4), à la partie inférieure de l'épurauteur de vapeur D . Le récipient, muni d'un robinet de vidange a , est attaché par une patte a_1 , aux parois T du générateur.

Ainsi, la capacité intérieure du ressort étanche communique avec l'atmosphère, par le jeu existant entre la tige D et le couvercle, tandis que l'extérieur de ce ressort est soumis à la pression du générateur. Il en résulte que toute augmentation ou diminution de cette pression comprimera ou laissera se détendre le ressort d'une quantité correspondante, et réglera par suite l'ouverture du registre.

La puissance d'action du ressort est proportionnelle à la petite base d'un disque. La longueur parcourue dépend du nombre des disques et de leur degré de serrage. En vissant plus ou moins la chape sur la tige D , on peut régler le mouvement du registre de manière que son ouverture en grand et sa fermeture complète correspondent à des positions déterminées de l'extrémité du ressort, c'est-à-dire à des pressions données dans le générateur, différent, par exemple, d'une atmosphère. D'après les constructeurs, il suffit de visser la chape à raison de 4 à 5 millimètres, pour chaque atmosphère de pression normale qu'on désire maintenir.

Ce ressort, n'étant soumis à aucun frottement important, fonctionne toujours avec la même sensibilité; nous ajouterons qu'il a reçu d'autres applications (tampons de wagons, recul des pièces d'artillerie, etc.).

Le récipient du régulateur de combustion est toujours plein d'eau; pour le vider il suffit de fermer le robinet b_1 , et d'ouvrir les robinets a et b .

Des regards ménagés au-dessus du carneau C_1 , et fermés par des plaques O , permettent d'atteindre le registre R' .

On remarquera que le sécheur de vapeur a également une influence régulatrice sur l'état de la vapeur, en ce sens que toute combustion trop vive, déterminant un entraînement d'eau considérable, a aussi pour conséquence le départ de gaz plus chauds, et par suite une plus grande efficacité du sécheur. Cette correction n'a plus lieu lorsque l'activité de l'ébullition est due à un abaissement brusque de pression dans l'appareil.

Avec quelque précision que puissent fonctionner le régulateur de combustion et celui d'alimentation, leur effet n'est pas de maintenir constantes la pression ou la hauteur du niveau, mais plutôt d'entretenir un état continual d'oscillation entre des limites déterminées. Ce fait, commun à la plupart des régulateurs automoteurs, est d'autant plus marqué que leur action est plus indirecte, c'est-à-dire moins instantanée. Par exemple, lorsqu'un abaissement de niveau se sera produit, il faudra nécessairement un certain temps pour que le mouvement du flotteur soit transmis à la valve d'alimentation, et pour que le flux supplémentaire, traversant l'épurauteur, vienne relever le niveau dans les éléments. Pendant tout ce temps la cause perturbatrice pourra continuer d'agir; elle pourra aussi avoir cessé toute influence, ou même fait place à une cause agissant en sens contraire, lorsque l'action du régulateur se fera sentir à l'extrémité du circuit. Cette action deviendra elle-même un élément de perturbation, exigeant une correction inverse, et ainsi de suite. A ce point de vue, il n'y aurait pas intérêt à exagérer la sensibilité des régulateurs.

En prévision du cas où ces appareils venant à manquer leur effet, les tubes se videraient et atteindraient une température inquiétante, les constructeurs ont eu soin de placer, en b_2 , sur

la dernière boîte antérieure de chaque élément, une cheville fusible, en étain pur. L'emploi de ce métal est plus satisfaisant que celui d'un alliage, exposé à la longue à des altérations entraînant une variation du point de fusion. Cette fusion, vers 230° , et l'échappement de la vapeur appelleront immédiatement l'attention sur l'imminence d'un danger.

Le foyer réalise les conditions les plus favorables pour une bonne combustion : dimensions très larges, parois en réfractoires, grande hauteur libre au-dessus de la grille ; cette hauteur, de $0^{\text{m}},550$ à l'avant, s'élève jusqu'à $0^{\text{m}},750$ à l'arrière, par suite de la double inclinaison des tubes et des barreaux. La grille et le cendrier ont la même largeur ($1^{\text{m}},905$) que le carneau qui renferme les éléments, mais le foyer proprement dit F , a encore reçu un élargissement de $0^{\text{m}},100$. Il importe en effet, de retenir les gaz le plus longtemps possible, avant de les laisser s'engager dans le dédale des tubes, où leur inflammation est d'autant moins favorisée, que c'est précisément l'eau la plus froide qu'ils rencontrent d'abord. Ces gaz sont guidés dans leur mouvement par quatre étages de cloisons en cornières, K et k , placées sur les tubes, et derrière les boîtes du fond ; ils n'arrivent dans la chambre C , du sécheur, qu'après avoir cédé aux éléments la plus grande partie de leur chaleur.

Le foyer est fermé à l'avant par un encadrement en tôle auquel sont attachées les portes. Au-dessous de celles de chargement f , se trouvent de petites portes f_2 , permettant de décrasser la grille et niveler le charbon, sans ouvrir les premières. Cette disposition mériterait d'être plus généralement appliquée aux foyers de chaudières, non que l'économie qu'elle réalise soit bien considérable, mais parce qu'elle tend à diminuer les effets destructeurs qu'entraîne toujours l'arrivée d'un flux d'air froid sur des pièces métalliques fortement chauffées ; on remarquera que la température de ces pièces est toujours plus élevée dans l'intervalle de deux chargements.

Le cendrier, formant cuvette, est fermé par des plaques f_1 , qui s'ouvrent en tournant sur leur arête inférieure, et sont retenues par des guides circulaires q . La grille est supportée, à l'avant sur une cornière g_1 , rivetée à la sole g , à l'arrière sur un sommier h , reposant sur la maçonnerie.

Cette grille, dans le modèle 1877, est d'un système particulier ; nous l'avons figurée à l'échelle de $1/5$, sur la planche VI (fig. 8, 9 et 10). Elle est formée par la juxtaposition de barreaux de fer, alternativement plats et ondulés. Tous ces barreaux sont serrés les uns contre les autres ; ils laissent entre eux des vides en forme de triangles allongés. L'avantage recherché par les constructeurs a été de distribuer l'air aussi régulièrement que possible, sur toute l'étendue de la grille, sans laisser cependant de longs intervalles ininterrompus, par lesquels le charbon et les scories peuvent s'échapper. Les barreaux sont très minces, et d'une hauteur de $0^{\text{m}},100$, circonstances favorables à leur refroidissement par le courant d'air ; ceux en fer plat ont une épaisseur uniforme de $0^{\text{m}},012$; ceux qui sont ondulés ont $0^{\text{m}},010$ à la partie supérieure et leur épaisseur décroît jusqu'à $0^{\text{m}},005$. Dans la grille exposée, l'amplitude de l'ondulation était de $0^{\text{m}},100$, et la flèche de $0^{\text{m}},010$; ces dimensions doivent nécessairement varier avec la nature de combustible. Les barreaux sont groupés d'avance en faisceaux, fixés aux deux bouts, ce qui rend l'installation plus rapide ; une fois en place, leur position demeure invariable. La multiplicité des points de contact donne à l'ensemble plus de solidité ; on peut penser qu'elle a encore pour effet de distribuer plus également la chaleur entre tous les barreaux, en profitant de leur conductibilité.

Les murs latéraux et celui d'arrière sont en briques, avec des armatures t , en cornières. La paroi antérieure est formée par les portes du foyer et la grande porte P , à deux battants, occupant toute la hauteur et toute la largeur des six éléments. La porte supérieure de l'appa-

reil est recouverte par une enveloppe en tôle P_1 , cintrée suivant la forme du sécheur, et raccordée avec l'encadrement de la porte P , par une tôle p_1 , présentant une doublure. L'intervalle est rempli de sable fin, ou d'autre matière non conductrice; une couche isolante est également étendue sur l'enveloppe supérieure. Le réservoir D est masqué à l'avant, par une tôle p .

Tous les accessoires nécessaires pour la conduite du générateur sont réunis sur un même côté de l'appareil : le robinet gradué e_1 , le tube de niveau N , et le manomètre métallique M , attaché à la colonne de niveau.

Les deux soupapes S sont installées au-dessus du réservoir de vapeur. Leur diamètre intérieur est de 0^m,060, avec un recouvrement de 0^m,002; le grand bras du levier a 0^m,620 et le petit 0^m,062 de longueur. Le contrepoids pèse 28^k,270.

Deux robinets U , u , permettent de prendre de la vapeur directement sur le réservoir, pour divers usages accessoires, par exemple pour le nettoyage extérieur des tubes. Ce nettoyage s'opère en faisant arriver, à l'aide d'un tuyau flexible, un jet de vapeur dans les interstices des boîtes de raccordement.

Le type de 100 chevaux comporte :

Six éléments, formés chacun de 9 fourches ou 18 tubes, ayant ensemble une surface de chauffe de	105 ^{mq} ,60
Un sécheur de vapeur, de 12 tubes, d'une surface de chauffe de	10 ^{mq} ,32
Soit une surface totale de chauffe de	115 ^{mq} ,92
La surface de grille est de	4 ^{mq} ,00
Son rapport à la première est de	1 à 29
Le volume de l'eau dans le générateur n'est que de	1 ^{mc} ,50
Soit par mètre cube d'eau une surface de chauffe de	70 ^{mq} ,00
La longueur du massif est de	3 ^m ,68
La largeur de	2 ^m ,98
Sa hauteur au-dessus du sol de	3 ^m ,44
La surface d'emplacement n'est que de	10 ^{mq} ,97
Soit par mètre carré d'emplacement, une surface de chauffe de	10 ^{mq} ,50
Et par mètre carré de grille, une surface d'emplacement de	2 ^{mq} ,74

On avait tiré parti, à l'Exposition, de cet avantage du système Belleville d'occuper très peu de place, en l'installant dans le 3^e groupe, c'est-à-dire sur le point du parc où le voisinage de la porte Rapp et des bâtiments d'administration exigeaient un minimum d'encombrement. La longueur d'emplacement disponible n'était que de huit mètres, au lieu d'une quinzaine accordée aux autres groupes; sur cette longueur le massif des trois générateurs occupait moins de quatre mètres, et près de neuf sur la largeur totale de dix mètres.

On trouvera sur la planche V, figures 1, 2 et 3, l'ensemble de cette installation unanimement admirée.

Les trois générateurs, placés côté à côté, parallèlement au Palais, envoyait leurs gaz dans une chambre unique C_1 , ayant toute la hauteur du massif, et une largeur transversale de 0^m,600. Un court caniveau central C_2 , de 1^m,600 de haut sur 1^m,000 de large, amenait les gaz à la cheminée C_3 , adossée contre le bâtiment.

On peut reprocher à cette disposition de ne pas placer les trois appareils dans les mêmes conditions de tirage; celui du milieu est évidemment favorisé sous ce rapport; une combustion

plus active sur sa grille, un dégagement de gaz beaucoup plus abondant, pourrait produire sur le tirage des deux autres générateurs, en quelque sorte l'effet d'un registre. Toutefois, on doit remarquer que les dimensions considérables de la chambre *C₁*, faisant office de réservoir, et l'action des régulateurs automatiques de combustion, viennent corriger l'influence de la position de la cheminée. Cette dernière avait 30 mètres de hauteur, et un diamètre intérieur de 2^m,155 à la base, et de 1^m,200 à la partie supérieure.

A l'un des angles du bâtiment, est installée, dans une fosse maçonnée, une grande bâche *B*, dans laquelle arrive l'eau d'alimentation, après avoir traversé le compteur *c*. Deux pompes *P*, à action directe, montées l'une au-dessus de l'autre sur le même bâti, injectent l'eau dans la conduite *E*, placée dans un caniveau qui parcourt le front des générateurs. Un tuyau *p*, embranché sur la conduite générale *V₁*, amène la vapeur jusqu'aux pompes. MM. Belleville et C^{ie} emploient, pour empêcher l'adhérence des dépôts, une dissolution alcaline de cachou, (500 grammes de cachou et 125 grammes d'une dissolution de soude caustique, à 36°, par litre d'eau). Un litre de cette préparation suffit, en moyenne, pour dix mille litres d'eau vaporisée.

La rapidité de la circulation à l'intérieur des tubes prévient toute accumulation des matières en suspension dans l'eau; de là un double avantage, pour la conservation de ces tubes et la meilleure utilisation de la chaleur. Cette utilisation est du reste favorisée par la division et le brassage qu'éprouvent les gaz à travers les éléments, et le peu d'étendue des maçonneries relativement à la surface de chauffe. A leur départ, les gaz doivent cependant conserver encore une température assez élevée, puisqu'ils sont supposés céder jusqu'au dernier moment des calories au sécheur, parcouru par la vapeur la plus chaude. A l'Exposition, un thermopyromètre Desbordes, installé dans le caniveau allant à la cheminée, indiquait près de 215°. On pourrait chercher à utiliser une partie de la chaleur entraînée, pour le chauffage de l'eau d'alimentation.

Le fonctionnement du groupe, malgré les variations continues de dépense, a été très régulier, et n'a pas subi un seul jour d'interruption pendant toute la durée des six mois. La production de vapeur, par suite de l'énorme consommation des appareils directement alimentés de la classe 54, atteignait à certaines heures plus de 6,000 kilogrammes; un robinet constamment ouvert sur la conduite permettait de constater l'état de sécheresse de la vapeur. Nous ajouterons qu'au démontage, un grand nombre d'ingénieurs ont pu vérifier la parfaite conservation des différentes parties de l'appareil.

Nous avons cru devoir entrer dans quelques développements au sujet du système Belleville, en raison d'abord de l'intérêt capital que présente la réalisation *pratique* de l'inexplosibilité; d'autre part, les dispositions particulières de l'appareil, tout à fait en dehors des formes courantes, la multiplication des organes accessoires, les échecs des tentatives antérieures, ont soulevé contre lui des préventions qu'il n'était que juste de combattre.

Au point de vue du fonctionnement, l'expérience de six mois, à l'Exposition, est suffisamment concluante. Au point de vue de la sécurité, un générateur exclusivement composé de tubes de faible diamètre, sans être à l'abri de tout accident, ne donnera lieu en aucun cas à ces violentes et désastreuses explosions, dont s'émeut avec raison l'opinion publique.

Quant à la complication qu'on reproche au système, il faut supposer des circonstances assez exceptionnelles pour qu'elle puisse devenir une source d'embarras. Dans l'état où est actuellement parvenue l'industrie, lorsqu'on considère à quel degré de précision et de délicatesse d'organes arrive aujourd'hui la machine à vapeur, on est moins étonné que l'appareil vaporise

sateur, dont elle est inséparable, prenne aussi une apparence moins grossière, des dispositions moins simples, et tende de plus en plus à relever autant de la mécanique que de la chaudiéronnerie.

Le générateur Belleville est-il enfin arrivé à son état définitif? Le supposer serait tenir peu de compte de l'esprit de recherche qui anime l'inventeur et M. Delaunay, son collaborateur. Il est plus que probable que l'épuration de l'eau, la constance d'état de vapeur, la rapidité d'action des régulateurs, la parfaite utilisation de la chaleur etc., seront encore l'objet de persévérandes études. On peut dire cependant que les perfectionnements à espérer ne seront que des modifications de détail.

Dès à présent, la chaudière Belleville constitue un appareil parfaitement *pratique*, lorsqu'il n'est pas surmené. Le peu d'emplacement qu'il occupe, sa légèreté relative, la rapidité de mise en pression le rendront particulièrement commode dans certaines circonstances; enfin la facilité de le transporter par colis réduits, et la possibilité d'atteindre sans danger les pressions les plus élevées, le rendront très utile dans des cas spéciaux où tout autre système cesserait d'être possible. La vaporisation n'y devient que plus régulière quand la pression s'élève.

Nous ne voulons pas parler seulement des hautes pressions auxquelles on arrive de plus en plus à faire fonctionner les moteurs, mais de celles bien plus considérables auxquelles la vapeur est employée comme moyen de chauffage, dans certaines fabrications (stéarine, pâte de bois pour papeteries 4 etc.).

Le prix élevé des générateurs Belleville s'explique par les matériaux de choix et la main-d'œuvre plus coûteuse qu'exige sa construction. En revanche il entraîne peu de frais de transport et d'installation; la possibilité de remplacer assez rapidement toute pièce avariée, par une pièce de rechange, diminue beaucoup les chances de chômage.

**GÉNÉRATEUR A FOYER AMOVIBLE DE LA SOCIÉTÉ CENTRALE
DE CONSTRUCTION DE MACHINES, A PANTIN (PRÈS PARIS).**

Le titre de Société Centrale rappelle que cette maison doit sa fondation à un groupe d'anciens élèves de l'Ecole Centrale; souvent on la désigne par le nom de ses Administrateurs-Directeurs, MM. C. Weyher et Richemond. Son succès a été des plus rapides; à peine fondée, en 1867, elle se fait une place parmi les meilleures maisons françaises, et obtient, coup sur coup, une grande médaille de Progrès à Vienne, en 1873, un grand prix à Paris, en 1878, et la nomination dans la Légion d'honneur de ses deux directeurs et de l'un de ses ingénieurs, M. A. Liébaut. La faveur dont ses générateurs ont été l'objet de la part du public, s'explique par l'adoption d'un modèle très étudié, mais d'une installation très simple, offrant des facilités spéciales pour son entretien, et reproduit suivant une série assez complète pour répondre à toutes les demandes.

Ce modèle est la chaudière tubulaire, à foyer amovible, avec retour de flamme dans les tubes. On sait que le principal avantage du système est de permettre, en déboulonnant simplement un joint, de sortir le foyer et les tubes, c'est-à-dire les parties les plus exposées à tous les inconvénients des incrustations, et de procéder à un nettoyage complet, facile à vérifier.

L'idée de fixer le foyer intérieur par un seul bout, sur une plaque portant en même temps les tubes de retour de flamme, apparaît pour la première fois dans un brevet pris le 5 juillet 1855, par Laurent Chevalier. Dans ce brevet, les tubes sont recourbés à leur extrémité et viennent s'attacher sur le fond intérieur du foyer; il n'est pas spécifié si la plaque de front est attachée au corps cylindrique, par des boulons ou par des rivets.

Presque à la même époque (brevets du 29 septembre 1855 et du 1^{er} février 1876), M. Perignon arrive à une disposition analogue, notablement améliorée par l'addition d'une chambre de combustion, dans laquelle débouchent à la fois le tube foyer et les tubes de retour de flamme. C'est ce dernier type qui a été ensuite répandu par MM. Thomas et Laurens.

Ces constructeurs et Laurent-Chevalier se sont longtemps disputé la priorité de l'emploi des boulons, au joint d'avant; cette question n'a jamais été nettement tranchée. Toujours est-il que les deux maisons ont continué d'exploiter simultanément leurs dispositions à peu près identiques; de fait, il eût été difficile d'interdire, dans un travail de chaudronnerie, la substitution d'un boulon à un rivet.

La Société Centrale, en adoptant le système Thomas et Laurens, y a apporté d'importantes améliorations. La nécessité de maintenir une couche d'eau suffisante au-dessus des tôles exposées aux flammes entraînait toutes sortes de sujétions. Le tube-foyer ne pouvait ni recevoir un grand diamètre, ni être placé concentriquement au cylindre ; il n'était possible de disposer qu'un nombre insuffisant de tubes de retour ; enfin, pour ne pas émerger dans la vapeur, la chambre de combustion devait recevoir à sa partie supérieure une forme surbaissée, plus difficile et plus coûteuse à exécuter, offrant en même temps une résistance moindre, précisément à l'endroit où la pression extérieure, le voisinage du niveau et le contact des gaz les plus chauds, multipliaient les chances d'écrasement. Malgré toutes les précautions, l'appareil restait soumis à des dangers toujours menaçants, et sa sécurité dépendait entièrement du degré d'attention du chauffeur.

L'installation d'un vaste réservoir d'eau et de vapeur au-dessus de la chaudière a fait disparaître tous ces inconvénients. Le relèvement du foyer a soulagé la partie supérieure de la plaque d'avant ; le cylindre étant plein d'eau, on a pu distribuer les tubes tout autour du foyer ; la chambre de combustion a reçu des dimensions plus grandes et sa forme cylindrique est moins sujette aux déformations. L'augmentation du volume d'eau a donné plus de régularité à la production de la vapeur, en même temps que l'espace plus vaste réservé à celle-ci tendait à diminuer le primage. On peut encore remarquer que la disposition d'un second cylindre, réuni au premier par deux cuissards, détermine une circulation d'eau très active, surtout au-dessus des tubes où les incrustations sont le plus à craindre. Cette circulation favorise du reste la rapide absorption de la chaleur du foyer. La partie inférieure du réservoir a pu être utilisée comme surface de chauffe, ainsi que toute la surface du grand cylindre.

Sur la planche VII de l'atlas est représenté l'un des trois générateurs installés à l'Exposition par la Société Centrale.

Le corps cylindrique *A*, ou la *calandre* (vieux mot pour cylindre), a 1^m,440 de diamètre et 4^m,200 de longueur, y compris le fond. Elle est formée de trois viroles de 0^m,011 d'épaisseur, en tôle n° 4 du Creusot ; tous les joints présentent une double rangée de rivets, bien que cela ne soit utile, en réalité, que pour les joints longitudinaux. Le fond, de 0^m,280 de hauteur, a une épaisseur de 0^m,012.

La calandre se termine à l'avant par une bride de 0^m,090 de largeur, rivetée extérieurement, contre laquelle vient s'appliquer une bride analogue, attachée à la plaque tubulaire *P*. Les faces verticales des deux brides sont parfaitement dressées, et serrées l'une contre l'autre par des boulons *p*. Le joint étant placé à l'extérieur n'est pas exposé à une très haute température ; il suffit d'interposer une forte rondelle de caoutchouc entre les brides, pour assurer l'étanchéité.

La plaque tubulaire, en tôle n° 6 du Creusot, a 0^m,025 d'épaisseur ; elle est emboutie autour du foyer, dont l'ouverture est concentrique à la calandre.

Ce foyer *F*, est en forme de tronc de cône ; son diamètre, de 0^m,787 sur la plaque *P*, se réduit à 0^m,687 sur la plaque d'arrière *P'* ; sa longueur est de 3^m,150, et son épaisseur de 0^m,011. Pour éviter la présence de tout joint au contact immédiat des flammes, le foyer ne comprend que deux viroles, dont la première a jusqu'à deux mètres et demi de longueur. Cette virole est formée par la réunion de deux tôles rivées l'une à l'autre longitudinalement, la largeur de celle du haut étant suffisante pour que les deux lignes de rivets se trouvent en contre-bas de la grille. En les dépliant, on aurait deux trapèzes de même longueur, et dont les largeurs moyennes seraient dans le rapport de 1 à 3. Cet artifice, tout en mettant les rivures à l'abri du feu, dispense de l'emploi de tôles trop larges, de soudures, ou de joints à bords rabattus.

Le sens dans lequel les tôles sont placées est indifférent tant que le foyer reste parfaitement concave, c'est-à-dire ne travaille qu'à la compression ; mais si une poche venait à se

produire, le métal, dans la partie devenue convexe, se trouverait soumis à un effort deux fois plus grand dans le sens transversal que dans le sens longitudinal ; or la résistance des tôles serait justement moindre suivant le premier, par suite de la direction du laminage. L'emploi de tôles *extra*, fabriquées avec des précautions convenables (croisement des mises, etc.), permettra de compter sur une résistance à peu près uniforme dans tous les sens.

La plaque P_1 a un diamètre de 1^m,300 et une épaisseur de 0^m,020 ; elle présente une portée annulaire de 0^m,070 de largeur, sur laquelle est attachée, par les boulons p_1 , la bride rivetée sur le pourtour de la chambre C . On voit que les boulons p_1 sont dans l'eau, et que la pression de la chaudière tend à serrer encore le joint.

La chambre C est formée d'une virole en tôle de 0^m,011, de 1^m,150 de diamètre, et de 0^m,420 de largeur, sur laquelle est riveté un fond en tôle de 0^m,012 d'épaisseur. L'emboutissage de cette dernière pièce doit être exécuté avec toutes les précautions indiquées pour éviter les gerçures et les amincissements du métal sur les bords. Elle se trouve placée, en effet, dans des conditions bien plus défavorables qu'un fond ordinaire de chaudière ; d'un côté elle est frappée perpendiculairement par les flammes, de l'autre, la pression qu'elle supporte, en agissant du dehors vers l'intérieur, tend constamment à la déformer.

Les deux plaques P et P_1 sont reliées par 35 tubes de fer, disposés sur deux rangées, en alternant les intervalles. Ces tubes, fournis par la maison Mignon et Rouart, de Montluçon, ont un diamètre extérieur de 0^m,095 et une épaisseur de 0^m,0035. Ils sont emmanchés sur les plaques à la manière ordinaire, au moyen du sertisseur Dudgeon. Leur écartement est un peu plus grand sur la plaque d'avant, d'un diamètre supérieur ; cette circonstance favorise la circulation de l'eau et de la vapeur, sur les points où elle est surtout nécessaire.

Les constructeurs donnent à l'ensemble du foyer, de la chambre C et du faisceau tubulaire, le nom de *vaporisateur*.

Cet ensemble ne pourrait rester suspendu en porte-à-faux à la plaque d'avant ; il repose par un patin q , attaché au-dessous de la chambre C , sur deux rails plats q_1 facilitant l'entrée et la sortie de la partie amovible.

Les deux cuissards b , reliant le cylindre supérieur A^1 , à la calandre, sont en tôle de 0^m,012 ; leur hauteur est de 0^m,150 et leur diamètre de 0^m,516. Ce diamètre considérable facilite la circulation de l'eau de l'un à l'autre cylindre, et par suite, l'entraînement rapide par le courant, des bulles de vapeur qui se forment entre les tubes, au-dessus du foyer.

Le réservoir A est formé de trois viroles de 0^m,008 d'épaisseur ; il a un diamètre intérieur de 1^m,084, et une longueur de 4^m,100, y compris les deux fonds dont l'épaisseur est de 0^m,009. Il porte en son milieu un dôme D , de 0^m,668 de diamètre et de 0^m,730 de hauteur.

Ce dôme, en tôle de 0^m,009, directement embouti sur la chaudière, est surmonté d'un chapeau en fonte, présentant un trou d'homme T , et des tubulures de prise de vapeur V , de 0^m,075 de diamètre. Afin de donner une capacité assez grande au dôme, sans trop affaiblir le corps du cylindre, l'ouverture de passage de la vapeur à travers ce dernier, n'a que 0^m,450 de diamètre.

A la partie supérieure, verticalement au-dessus du premier cuissard, est installé un indicateur Lethuilié-Pinel, portant deux soupapes S , et un double sifflet z .

On remarquera la disposition prise pour mettre l'indicateur à l'abri du courant d'eau et de vapeur qui s'élève du cuissard. Le flotteur i est enveloppé d'un cylindre J , qui repose sur une plaque j , soutenue par des pattes j_1 (V. fig. 4). L'eau, passant par les

interstices laissés entre la plaque et le cylindre, s'élève dans ce dernier à la hauteur du niveau extérieur, tout en restant relativement calme; il suffit de défaire le boulon central pour démonter l'appareil.

Sur le pied de l'indicateur magnétique vient s'attacher le tuyau de vapeur m , allant au manomètre métallique M , installé sur la devanture (fig. 2). Le fond antérieur du réservoir porte un tube ordinaire de niveau, N .

L'alimentation se fait par la tubulure E , de 0^m,055 de diamètre, placée à l'autre bout de l'appareil. Un long tuyau de 0^m,066 de diamètre amène l'eau froide, à travers le second cuissard, jusqu'au bas de la calandre. Ce tuyau permet de vider la chaudière sous pression, par la même ouverture, et une seconde tubulure E_1 (fig. 2).

A l'avant de la calandre et concentriquement à celle-ci, se trouve une boîte à fumée C_1 , en tôles et cornières dans laquelle viennent déboucher les tubes. Cette boîte, d'une profondeur de 0^m,320, est fixée au moyen des pattes c_1 boulonnées avec le joint du foyer; elle s'appuie directement sur le sol, au-dessus d'une fosse en maçonnerie Q . Dans cette partie, elle présente un prolongement horizontal qui conduit les gaz sous la calandre, tout en protégeant contre leur contact, les boulons inférieurs du grand joint. A l'intérieur de la boîte à fumée est attachée une cloison circulaire en tôle, venant encadrer l'ouverture du foyer.

La sole g de la grille est également rivetée sur la boîte. La grille est assez longue (près de 1^m,700); elle est formée de deux rangées de barreaux d'inégale longueur. Elle s'élève, à l'avant, au niveau de l'axe du foyer, et présente une inclinaison totale d'une dizaine de centimètres vers l'autel H . Ce dernier est supporté par des pièces métalliques, qui prennent leur appui, ainsi que le sommier g_1 , sur les deux lignes de rivets des tôles du foyer. L'autel n'a qu'une hauteur de dix centimètres, de manière à laisser la plus grande section possible au passage des gaz. Un tampon h , placé au fond du cendrier, permet de retirer les cendres qui s'accumuleraient au delà de la grille. Au besoin, avec des charbons très fumeux, on pourrait laisser passer un peu d'air par cette ouverture, de manière à compléter la combustion dans le tube et la chambre C . Il importe que cette combustion soit activée avant le retour des gaz par le faisceau tubulaire, où elle ne pourrait plus avoir lieu, même avec un excès d'air. Le changement brusque de direction qu'éprouvent les gaz dans la chambre c , détermine leur mélange et favorise l'inflammation des veines encore combustibles.

Un des perfectionnements apportés par la Société Centrale à son modèle de 1872, a été la multiplication du nombre des tubes c . L'augmentation de la surface de chauffe n'est pas le seul avantage de la nouvelle disposition; il en est encore résulté un tirage plus actif, et une meilleure utilisation de la chaleur. En effet, les diverses résistances qu'éprouvent les gaz dans leur circulation (contractions, changements de vitesse, frottement, etc.) sont proportionnelles au carré de la vitesse; or celle-ci varie en sens inverse du nombre des tubes. Le refroidissement, plus rapide lorsque les gaz s'écoulent plus lentement, tend encore à diminuer leur volume, c'est-à-dire leur vitesse. Il est vrai qu'étant plus froids à la sortie des tubes, ils céderont moins de calories aux parties suivantes de la surface de chauffe, mais ils en perdront moins aussi par les maçonneries et par la cheminée, et, en définitive, l'application du principe *d'utiliser la chaleur aussi près que possible du foyer*, conduira à une amélioration du rendement. On peut encore remarquer que la couche de suie, qui se dépose toujours dans les tubes, atteindra, d'autant plus rapidement qu'ils seront

moins nombreux, une épaisseur nuisible à la transmission de la chaleur dans la chaudière.

En portant à 35 le nombre des tubes, les constructeurs, dans leur nouveau modèle, sont arrivés à donner au faisceau une section totale de $0^{mq},21$, c'est-à-dire au moins égale à celle de départ des gaz au-dessus de l'autel.

Il n'y aurait pas intérêt, croyons-nous, à essayer d'aller au delà. Le rapprochement exagéré des tubes favorise la formation des incrustations, en même temps qu'il rend leur enlèvement ultérieur plus difficile; de plus, il gêne la circulation de l'eau et le dégagement des bulles de vapeur. Toutes ces circonstances concourent à diminuer la transmission de la chaleur; en les rapprochant de ce fait, que les gaz ne se distribuent pas également entre les tubes, on s'explique comment on a pu, sur des chaudières de locomotives, où le nombre des tubes est considérable, supprimer une partie du faisceau, sans abaisser le rendement (1).

Sur la devanture de la boite C_1 sont attachées, non seulement les portes f et f_1 du foyer (la première munie d'un double fond), mais encore trois portes à charnière O (fig. 2) fermées par des loquets o , et dont l'ouverture permet de pratiquer le nettoyage intérieur des tubes. La suie et les cendres extraites de la chambre C et des tubes, viennent s'accumuler provisoirement dans la fosse Q .

L'installation de la chaudière est très simple; elle repose sur deux supports en fonte évidée, L , qui sont portés par deux massifs en briques reliés l'un à l'autre et aux murs latéraux, comme l'indiquent les figures. La chambre en maçonnerie C_2 , n'est en contact avec la chaudière que par le remplissage supérieur (descendant jusqu'à la hauteur de l'axe du réservoir) et le mur de front, dans lequel la calandre vient s'encastre un peu en arrière du joint d'avant. Ainsi les parois de la chambre ne s'appuient nulle part sur des tôles fortement chauffées, c'est-à-dire qu'elles sont moins exposées aux dilatations, et aux fissures. Du reste, les gaz n'y arrivent qu'à une température relativement basse, les pertes par rayonnement et par conductibilité sont peu considérables; les murs de la chambre peuvent être construits très légèrement, avec une seule épaisseur de brique, ce qui diminue beaucoup les frais d'installation. A la partie inférieure du mur de front, est ménagée une ouverture pour le passage des gaz de la boite C_1 à la chambre C_2 ; les briques sont soutenues, sous la calandre, par un cadre en fonte I , à l'intérieur duquel s'engage l'extrémité du prolongement horizontal de la boite.

Les gaz, en arrivant dans la grande chambre, subissent un ralentissement de vitesse qui devrait donner le temps à leurs filets les plus chauds de s'élever jusqu'au réservoir. Il est à craindre que le courant ne soit trop rapidement appelé par le carreau C_3 , et que les gaz immobilisés à la partie supérieure ne forment qu'un excellent matelas non-conducteur. Un registre R , manœuvré depuis le front, à l'aide de la chaîne de renvoi r , est installé dans le carreau de départ C_4 dont la section est de $0^{mq},42$.

Proportions de l'appareil :

Surface de grille.	$1^{mq},30$
Surface de chauffe.	$67^{mq},00$
Rapport de la surface de la grille à la surface de chauffe	1:51.
Capacité de la calandre.	$4^{me},363$

(1) Voir les expériences de M. Geoffroy, en France, et de M. Adam, en Angleterre. Les premières, exécutées au chemin de fer du Nord, et dont les résultats sont reproduits dans l'ouvrage de Ch. Couche (Voie et matériel des chemins de fer), ont même donné un rendement un peu supérieur avec le faisceau tubulaire réduit de moitié; l'activité de la combustion et de la vaporisation était naturellement moindre, mais la chaleur dégagée se trouvait mieux utilisée.

Capacité du réservoir	3 ^{me} , 904
Id. du dôme de vapeur	0 ^{me} , 239
Volume total moyen de l'eau	6 ^{me} , 315
Id. de la vapeur	2 ^{me} , 190
Surface de chauffe par mètre cube d'eau	10 ^{mq} , 16
Surface moyenne de niveau	4 ^{mq} , 50
Rapport de cette surface à la surface de chauffe	1 : 15
Longueur du massif	5 ^m , 00
Largeur id.	2 ^m , 42
Hauteur depuis le sol du chauffeur	3 ^m , 00
Surface d'emplacement	12 ^{mq} , 10
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	5 ^{mq} , 54
La chaudière était timbrée à 6 ^k , 5.	

Comme on le voit, l'appareil est peu encombrant; il est vrai que l'on doit réservier à l'avant, l'emplacement nécessaire à la sortie de la partie amovible.

Pour démonter la chaudière, il suffit de déboulonner les pattes *c*₁, d'enlever la boîte à fumée et de défaire les boulons *p*; on tire alors le vaporisateur à l'aide d'un plan, et on le reçoit sur des galets, mobiles sur deux rails plats.

Non seulement les réparations et les nettoyages deviennent ainsi très commodes à exécuter, mais ils peuvent être surveillés, contrôlés par le propriétaire de l'appareil; c'est là un avantage aisément appréciable. Comment se rendre compte, dans une chaudière à bouilleurs, par exemple, de l'importance des incrustations, comment vérifier si leur enlèvement (lorsqu'il est possible) a été soigneusement fait, si le travail au burin n'a pas altéré les tôles sur quelques points?

Le générateur Thomas et Laurens, avec un seul rang de tubes, présentait plus de facilités que le nouveau modèle pour les nettoyages, bien qu'en se servant d'outils de forme convenable, on puisse encore atteindre le vaporisateur et tous les tubes..

Le démontage et la réfection du grand joint peuvent s'effectuer en quelques heures; il suffit donc, pour éviter tout chômage, d'avoir un vaporisateur de rechange pour une batterie. D'après les constructeurs, la rondelle en caoutchouc peut subir sans altération plusieurs démontages; en tous cas, il est facile de la remplacer. Il sera bon de vérifier chaque fois l'état des boulons et des pas de vis.

Dans le cas d'une alimentation avec des eaux très impures, on peut regretter que le seul moyen de nettoyage soit la sortie du vaporisateur; cette opération, très simple sur de petits appareils, devient beaucoup [plus gênante lorsque les dimensions sont considérables. Les dépôts non adhérents, accumulés sur le fond de la calandre, seront entraînés à travers le tuyau *e*, quand on videra la chaudière sous pression. Au besoin, l'addition d'un tampon de lavage ne présenterait pas grande difficulté.

On a quelquefois reproché aux foyers amovibles par un seul joint, de faire porter sur ce joint tout l'effort de la pression intérieure tendant à projeter au dehors le vaporisateur. Quelques constructeurs ont pensé qu'il y aurait avantage, au point de vue de la résistance, à fixer le foyer sur les deux fonds de la calandre, c'est-à-dire à se placer dans les conditions de la chaudière du Cornouailles. Mais il faut remarquer que la pression due à la vapeur est inférieure à celle qui résulte, dans la seconde disposition, de la dilatation du vaporisateur, dont la température est beaucoup plus élevée que celle de la calandre.

Pour avoir une idée de l'effort développé par la dilatation, il suffit d'observer qu'il est pré-

cisément égal à celui qu'il faudrait exercer sur le foyer, pour le comprimer de la quantité dont son allongement dépasse celui de la calandre. Dans la chaudière du Cornouailles, les deux fonds n'échappent en partie à cet effort, que parce que le foyer, plus fortement chauffé à la partie supérieure, ne tarde pas à prendre une courbure très prononcée vers le haut, circonstance qui favorise son altération. Si l'attache par deux joints présente plus de commodité pour les visites et les réparations aux tubes, sous le rapport de la sécurité, le joint unique, avec libre dilatation du vaporisateur à l'intérieur de la calandre, nous semble offrir plus de garantie.

L'influence fâcheuse des dilatations inégales pourra encore se manifester, il est vrai, entre les différentes parties du vaporisateur, notamment au joint d'arrière des tubes ; on reconnaîtra cependant que ces tubes et la plaque P_1 , sont placés dans de meilleures conditions de conservation que les mêmes pièces dans les générateurs tubulaires ordinaires.

Plus facile que ces derniers à conduire et à entretenir, la chaudière amovible, telle que la construit la Société centrale, donnera d'autre part un rendement supérieur à celui des chaudières à bouilleurs, si l'on a soin de maintenir une faible épaisseur de combustible, et de nettoyer fréquemment l'intérieur des tubes.

Le groupe des trois générateurs exposés formait un massif de 32 mètres carrés. On voit sur la planche VIII, que l'emplacement réservé à l'avant, n'était pas suffisant pour la sortie des vaporiseurs. Étant donné l'emplacement de 7^m,500 sur 10^m,500, il semble qu'il était tout indiqué de disposer les trois appareils dans le sens de la longueur. Les constructeurs avaient voulu se réserver la possibilité d'augmenter, au besoin, la batterie. Les gaz, en quittant les registres, étaient amenés par les carreaux C^4 , convenablement recourbés, jusqu'au conduit général C^5 , allant à la cheminée.

Celle-ci, construite ainsi que les fourneaux, par MM. F. Cordier ainé et fils, avait une hauteur de 34 mètres ; son diamètre intérieur était de 0^m,900 à la partie supérieure. Le bâtiment, en fer et briques, avait été construit par M. O. André, à Neuilly.

GÉNÉRATEUR TUBULAIRE A FOYER RECTANGULAIRE, DE LA C^{IE} DE FIVES-LILLE (NORD)

On sait que les établissements de la Compagnie de Fives-Lille, à la tête desquels est aujourd'hui placé M. E. Duval, Directeur des Travaux de l'Exposition, furent créés, en 1862, par de grands entrepreneurs et constructeurs de chemins de fer, MM. Parent, Schaken, Houel et Caillet. Ces établissements comprennent les ateliers de Fives-Lille (Nord) et de Givors (Rhône); ils occupent une superficie de près de 13 hectares, et emploient jusqu'à 3,500 ouvriers. Le siège social et administratif est établi à Paris, ainsi que le bureau des études, dirigé par M. Baudet.

Spécialement fondée en vue des grandes entreprises de chemins de fer et de constructions métalliques, la Compagnie de Fives-Lille n'a commencé à installer des sucreries, raffineries, etc., et par suite des générateurs fixes, qu'à partir de 1870, à l'expiration du traité de participation par lequel elle était liée à l'ancienne Société J.-F. Cail et C^o. Actuellement, elle peut produire par an 6,000 tonnes de matériel pour industries diverses. Ses appareils présentent naturellement une certaine analogie avec ceux de la maison Cail, à laquelle elle a emprunté ses méthodes d'étude, ses principes de construction, et une partie de ses ingénieurs.

A l'Exposition, elle avait installé deux chaudières identiques, fournissant la vapeur à l'extrême de la galerie française des machines (côté École militaire). L'un de ces appareils est représenté en détail sur la planche IX. On voit que ce n'est autre chose qu'un générateur de locomotive.

Il se compose essentiellement d'un corps cylindrique *A*, précédé par une boîte à feu *B*, d'un foyer rectangulaire *F* suspendu dans celle-ci, et d'un faisceau de tubes *c*, traversant toute la longueur du cylindre et aboutissant à la boîte à fumée *C*.

Le corps cylindrique, d'une longueur de 4^m,870 et d'un diamètre de 1^m,490, est formé de quatre viroles en tôle puddlée de 0^m,0125 d'épaisseur, assemblées avec des recouvrements de 0^m,070 de largeur. Il est surmonté d'un dôme en trois pièces, d'une hauteur totale de 1^m,240, et d'un diamètre de 0^m,750. Le corps du dôme, en tôle de 0^m,009, est attaché par cornières à un socle embouti sur la chaudière, avec anneau intérieur de renfort. Sur le chapeau en fonte, de 0^m,290 de hauteur, se trouvent les deux soupapes *S*, la prise de vapeur *v* et un tampon autoclave *T*. Un indicateur magnétique *I* (système Lethuillier-Pinel) à double sifflet, est installé, comme presque toujours, vers l'avant de l'appareil, position certainement la plus commode pour la lecture, mais la moins favorable pour l'exactitude des indications, surtout lorsqu'aucune disposition n'est prise pour atténuer l'influence des ébullitions tumultueuses. La course de l'indicateur est de 0^m,210.

La boîte à feu, en forme de tombeau, a 1^m,887 de long, 1^m,515 de large et 2^m,318 de haut. L'ouverture du bas est fermée par un cadre en fer forgé *B*, sur lequel sont rivetées les tôles du foyer et de la boîte. Ce cadre, figurant un fer à cheval, a une hauteur de 0^m,075, et une largeur de 0^m,110 à l'arrière et 0^m,075 sur les côtés. Il se fermait, dans les anciennes chaudières Fives-Lille, par un coude vertical encadrant la porte *f*; mais les tôles, n'étant plus rafraîchies par l'eau, se brûlaient rapidement au-dessus de cette porte. Dans la disposition actuelle, le cadre est partout en contre-bas de la grille.

Le foyer, d'une hauteur de 1^m,700, a la forme d'un tronc de pyramide : vers le ciel, sa longueur est de 1^m,620 et sa largeur de 1^m,231 ; vers la grille, la longueur devient 1^m,670 et la largeur 1^m,316. Le fond antérieur présente, suivant le contour de la porte, un emboutissage extérieur riveté avec les bords de l'ouverture correspondante de la boîte à feu. Cet emboutissage est exposé à bien des causes d'altération : rayonnement de la grille, contact des flammes, rentrées d'air, travail continu de dilatation et de contraction; d'autre part, il est baigné par les eaux les plus chargées. Sa construction exige l'emploi de tôles excellentes, avec toutes les précautions indiquées pour prévenir l'amincissement, ou une altération quelconque du métal (chaudes faibles et répétées, mandrinage au bois, etc.); on lui a donné une courbure assez douce, tandis que l'emboutissage intérieur du même fond n'a qu'un rayon de 0^m,060.

Les faces planes de la boîte à feu sont, comme le foyer, en tôle fine de 0^m,012 d'épaisseur; le foyer est attaché à ces faces par des entretoises filetées et rivées *b*, de 0^m,021 de diamètre, distribuées avec un écartement moyen de 0^m,106. Le fond d'arrière du foyer est encore relié au corps principal par des boulons *a*, vissés sur des attaches rivetées à la partie inférieure du cylindre, sous le faisceau tubulaire. Le ciel du foyer est suspendu par treize poutrelles *b*¹, placées en travers, c'est-à-dire suivant la plus courte dimension. Chacune d'elles est formée de deux pièces de tôle, supportant neuf boulons verticaux qui traversent le ciel et sont serrés par des écrous. Ces pièces, entretoisées dans l'intervalle de deux boulons, viennent reposer sur les consoles *a* (fig. 2), fixées à la chaudière. Pour éviter toute surépaisseur exposée aux flammes, les poutrelles présentent des évidements au-dessus du ciel, qu'elles ne touchent près de chaque boulon que pour prévenir toute déformation pendant le serrage.

Le faisceau tubulaire comprend 105 tubes en fer étiré, fournis par MM. Mignon et Rouart, de Montluçon, ou plus souvent importés d'Angleterre; ces tubes, d'une longueur de 5 mètres entre plaques, ont un diamètre extérieur de 0^m,070 et une épaisseur de 0^m,003. Ils sont placés en colonnes verticales et alternés horizontalement; leur écartement moyen est de 0^m,090, ce qui ne laisse qu'une lame d'eau de 0^m,020 entre les parois métalliques.

La figure 5 montre le mode d'emmanchement des tubes sur les plaques tubulaires (en tôle au bois, de 0^m,020 et 0^m,018). On reproche aux bagues telles que *c*₁, de réduire de plus de 10 0/0 la section du faisceau; l'inconvénient aura d'autant moins d'importance que la combustion des gaz sera mieux effectuée dans le foyer. Ces bagues isolées de l'eau prennent une haute température, et tendent, par leur dilatation, à serrer davantage le joint. Elles ont encore l'avantage de protéger l'extrémité des tubes, à l'avant, contre le choc direct des flammes.

Les deux fonds de la chaudière sont raidis par quatre étages d'armatures *a*₂, formées de fers à *T* ou de cornières. Le fond d'arrière a son emboutissage tourné vers l'extérieur, ce qui facilite le rivetage; il est attaché de manière que son bord chanfreiné soit en arrière de celui de la virole, disposition plus correcte au point de vue du matage. La boîte à fumée, en tôle puddlée de 0^m,008, est munie à l'arrière, d'une large porte *O*, permettant le nettoyage intérieur des tubes. En quittant la boîte à fumée, les produits de la combustion traversent le bâti en fonte *K*, servant

de support à la chaudière, et s'en vont par les carneaux C^1 et C^2 , à la cheminée. La section de passage à l'intérieur du bâti K , est de $0^{\text{m}q},442$; un registre à papillon y est installé. On le manœuvre, depuis le foyer, par l'intermédiaire d'un levier et d'une longue tringle r , présentant en R_1 une série de crans de réglage; une bielle attachée en r^1 , à l'enveloppe du générateur, soutient la tringle vers son milieu.

A l'avant, l'appareil s'appuie sur un support en fonte L , courant au-dessous du cadre B_1 , et reposant sur les parois en maçonnerie du cendrier F^1 . Un long boulon f^1 , reliant les extrémités du support L , sous la porte de chargement, fournit au chauffeur un point d'appui pour ringarder la grille par-dessous. La grille G , formée de deux rangs de barreaux horizontaux, supportés par les sommiers g , occupe toute l'ouverture inférieure du foyer; sa distance au ciel du foyer est de 1^m,540. Sur le fond antérieur de la chaudière, sont installés divers accessoires : le tube de niveau N , le manomètre M , et des robinets de jauge j .

L'eau d'alimentation, arrivant par la conduite *E*, traverse d'abord la valve *e*, dont la tige se prolonge à travers un petit bâti en fonte, de manière à relever le volant à main. L'eau est amenée par le tuyau *F*₁, de 0^m,050 de diamètre, jusqu'au clapet de retenue *e*¹, et pénètre dans la chaudière à la hauteur de son axe et assez près de la boîte à fumée, afin de rendre la circulation plus méthodique. Le robinet de vidange *e*² est naturellement placé à la partie inférieure de la boîte à feu, et communique par un tuyau de 0^m,060 avec la conduite d'égout, disposée dans le même caniveau que celle d'alimentation.

Immédiatement au-dessus du cadre B_1 , sont ménagés quatre bouchons de lavage, t , de forme elliptique, serrés par des boulons à ancre. Un autre bouchon t' est placé sur la plaque tubulaire d'arrière, et permet de nettoyer le fond du corps cylindrique.

A la partie supérieure, du même côté, se trouve une prise de vapeur *w*, munie d'un robinet auquel on vient attacher l'extrémité d'une lance, lorsqu'on veut nettoyer rapidement l'intérieur des tubes par un jet de vapeur.

La chaudière est revêtue d'une enveloppe continue en tôle qui réduit les pertes par rayonnement, et donne un meilleur aspect à l'appareil. Cette enveloppe P , serrée par les colliers p recouvrant les joints, est soutenue de distance en distance par des *crinolines*, c'est-à-dire des colliers en tôle, auxquels sont fixés, perpendiculairement, des appendices en fer rond, dont l'extrémité vient s'appuyer sur les parois de la chaudière.

Les principales dimensions du générateur sont les suivantes :

Surface d'emplacement 14^{ma},90

Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement 7^{ma},90

La chaudière était timbrée à 6 kilogrammes. Le diamètre des soupapes était de 0^m,130, celui de la prise de vapeur de 0^m,120. Le faisceau tubulaire offrait au passage des gaz une section de 0^{ma},32, soit la fraction $\frac{1}{6,8}$ de la surface de la grille.

L'emplacement qui correspond au corps cylindrique n'est réellement occupé qu'à partir d'un mètre au-dessus du sol; l'appareil est donc aussi peu incombrant que possible. Son installation est des plus simples à effectuer; les maçonneries se réduisent au cendrier et au carneau C_1 . Sous un faible volume, la chaudière présente une surface de chauffe considérable; elle peut vaporiser plus de 1,500 kilogrammes d'eau par heure.

L'utilisation de la chaleur s'opère dans les meilleures conditions; le foyer, par sa grande hauteur au-dessus de la grille, est plus favorable à la combustion que celui des chaudières du Cor-nouailles. Les gaz sont rapidement refroidis par leur division dans la masse liquide; leur circulation exclusivement intérieure et les formes ramassées de l'appareil réduisent à peu de chose les pertes par rayonnement ou par conductibilité. Enfin, aucune rentrée d'air parasite n'est possible.

En raison du faible volume d'eau, la mise en pression est assez prompte. Si l'on a soin de tenir le feu suffisamment bas pour que les flammes ne viennent pas s'éteindre dans les tubes, le rendement sera des plus élevés.

Il importe de ne pas laisser le niveau atteindre le ciel du foyer; il descendrait rapidement ensuite, en raison de la présence, au milieu de l'eau, du foyer, du faisceau tubulaire et des entretoises. Un accident serait à craindre; quand il se borne à la destruction d'un tube, il est facile à réparer. Si l'on est pressé, on bouché provisoirement les deux extrémités du tube; pour le remplacer, on coupe au burin les bagues c^1 et les bords rabattus, et on le sort par la boîte à fumée. On voit que les ouvertures sur la plaque d'arrière doivent être d'un diamètre suffisant pour le passage du tube généralement recouvert d'une couche d'incrustations.

La nécessité de maintenir un niveau assez élevé, et la difficulté de suivre ses variations, les indicateurs étant installés dans la région la plus agitée, pourront conduire à une alimentation exagérée, entraînant un primage considérable et parfois des projections d'eau; même à niveau normal, et malgré l'étendue de la surface libre, la vaporisation énergique, concentrée dans la région du foyer, tendra à déterminer un certain entraînement d'eau. Les constructeurs n'ont cherché à l'atténuer que par une grande capacité donnée au dôme de vapeur (plus de 0^{me},500).

Un autre point sur lequel doit être appelée l'attention du chauffeur, c'est le rapide encrassement des tubes par la suie et les cendres déposées par les gaz. L'effet immédiat de ces revêtements non-conducteurs est de s'opposer à la transmission de la chaleur et d'abaisser le rendement; leur présence prolongée sur les parois devient une source de corrosions. L'importance des dépôts dépend évidemment de la nature du combustible et de la manière dont le feu est conduit; en tous cas, il sera bon d'opérer un nettoyage intérieur des tubes *au moins* une fois par jour.

Mais l'inconvénient le plus grave auquel le système est exposé, résulte des incrustations, lorsque les eaux d'alimentation sont très impures. Le faible écartement des tubes (écartement qui tend encore à diminuer lorsque les tubes se courbent en se dilatant), favorise l'accumulation et l'adhérence des dépôts, en gênant la circulation de l'eau et le dégagement de la vapeur. Ces dépôts, isolant les parois métalliques, diminuent leur conductibilité et les exposent à être brûlées; leur présence est d'autant plus fâcheuse qu'il n'est guère possible de les atteindre, et qu'un nettoyage sérieux exige le démontage de l'appareil. Dans les chaudières locomotives, l'usage du cuivre (foyer, tubes, entretoises) diminue un peu l'adhérence des incrustations; mais pour les générateurs fixes, la

nécessité de ne pas éléver le prix de vente impose l'emploi exclusif du fer. On sait que ce métal conserve mieux sa ténacité aux températures élevées ; par contre, il est plus facilement corrodé par les dépôts intérieurs et extérieurs.

En résumé, le générateur tubulaire, et en particulier le type locomotive, est un appareil excellent au point de vue du rendement, très facile à installer, mais exigeant une conduite assez attentive, et, par intervalle, des réparations assez considérables. Il convient spécialement aux industries qui demandent à leurs chaudières une grande production pendant certaines périodes, alternant avec des chômagés prolongés durant lesquels on peut procéder aux nettoyages à fond et aux grosses réparations. Il est surtout commode dans le cas de l'installation rapide d'un appareil supplémentaire.

Nous avons signalé les inconvénients qui résultaient d'une alimentation avec des eaux très impures ; on pourrait, à ce point de vue, chercher à déterminer une circulation plus active à travers le faisceau, en réduisant le nombre des tubes et augmentant leur écartement ; on pourrait, dans le même but, incliner davantage les parois du foyer. Ces modifications auraient pour effet de diminuer un peu la puissance de l'appareil, mais relèveraient sans doute le rendement, la surface de chauffe devenant plus efficace. En tous cas, les mouvements plus rapides de l'eau et des bulles de vapeur protégeraient mieux cette surface contre les corrossions.

A l'Exposition, les deux générateurs de la Compagnie de Fives-Lille étaient installés dans un bâtiment de 13 mètres de long sur 7^m,500 de large, représenté sur la planche X. Leur distance d'axe en axe était de 2^m,500, et l'on pouvait circuler librement autour de chacun d'eux. Deux ouvertures O, ménagées dans la cloison d'arrière, en regard de chaque boîte à fumée, permettaient de manœuvrer facilement les brosses ou les lances à vapeur, pour le nettoyage intérieur des tubes.

L'eau d'alimentation était recueillie et jaugée dans les bâches latérales E. Deux injecteurs U, l'un du système Turck, l'autre du système Vabe, refoulaient l'eau par des tuyaux de 0^m,040 ; la vapeur était distribuée à l'injecteur par un robinet u, de 0^m,035, attaché à l'une des tubulures du dôme. Les deux foyers étaient munis d'insufflateurs du système Turck, destinés à produire la fumivorité par une injection de vapeur au moment du chargement. L'une des grilles était un *tisonnier mécanique* Wackernie. L'un des générateurs était revêtu d'une chemise en liège.

Les fondations se réduisaient à une couche de béton de 50 centimètres sous les cendriers, et une autre sous les carreaux portant les boîtes à fumée. Ces carreaux se prolongeaient un peu au-dessous des conduits horizontaux allant directement à la cheminée.

Cette cheminée, sur laquelle nous reviendrons plus loin, était en tôle ; sa hauteur était de 30 mètres, et son diamètre de 1^m,350 à la base et de 0^m,900 au sommet.

GÉNÉRATEUR DE MM. W. & J. GALLOWAY ET FILS, A MANCHESTER (ANGLETERRE)

Parmi les constructeurs de chaudières et de machines du Lancashire, MM. Galloway, dont la maison date de près d'un demi-siècle, sont surtout connus depuis l'apparition de leur type spécial de générateur, à l'Exposition de Londres, en 1851. Aujourd'hui, leurs ateliers de Knott Mill et de Branch occupent plus de 1,000 ouvriers, et peuvent produire annuellement 360 chaudières de 9 à 19 tonnes, en tôle de fer ou d'acier.

On connaît le principe du générateur Galloway : deux foyers intérieurs aboutissant à un carneau unique qui se prolonge dans toute la longueur de l'appareil et que traversent un grand nombre de tubes bouilleurs verticaux. Nous avons déjà signalé pour les chaudières du Lancashire les inconvénients qui résultent, pour le rendement, de l'absence de brassage et de la séparation trop longtemps maintenue des gaz provenant des deux grilles ; d'autre part, la réunion des deux courants dans un seul carneau, de grand diamètre, nous a paru critiquable au point de vue de la sécurité.

Les tubes Galloway répondent à ces deux ordres d'objections. Non seulement ils augmentent beaucoup la surface de chauffe, mais, par leur rapprochement et leur disposition en quinconce, ils chicanent et mêlent intimement les filets gazeux ; de plus ils tendent à consolider les parois du carneau central contre l'écrasement. Ces parois, en effet, ne sont pas placées, par rapport aux tubes, comme des plaques tubulaires ordinaires ; elles sont pressées de l'extérieur vers l'intérieur, et la dilatation des tubes agit en sens opposé. La forme surbaissée qu'on est obligé de donner au carneau, pour que le ciel ne vienne pas émerger dans la vapeur, ne présente plus ainsi aucun danger.

En 1875, MM. Galloway ont pris un nouveau brevet pour un type notablement perfectionné, auquel appartenaient les trois chaudières qui, à l'Exposition, desservaient la section britannique ; l'une d'elles est figurée sur la planche XI. Un générateur semblable, mais en tôle d'acier, était exposé en 1876, à Philadelphie.

Le carneau intérieur, dans le type primitif, avait une section parfaitement elliptique, et on ne pouvait installer plus de deux tubes verticaux sur la même ligne transversale. Dans le type actuel la partie inférieure de la section est concentrique avec la partie supérieure. Les tubes, reliant des surfaces parallèles, ont tous la même longueur et leurs deux brides normales à l'axe. La fabrication des tubes, d'un type unique, devient moins coûteuse, et leur pose plus facile. La forme plus allongée que prend la section du carneau permet d'en placer jusqu'à trois sur la même ligne ; ces tubes ne sont plus exclusivement verticaux, mais convergents. Par la nouvelle disposition, le dessous du carneau est rendu plus accessible pour les visites et les nettoyages ; la surface de chauffe se trouve

augmentée, sans que le volume d'eau soit réduit. La convergence des tubes, leur perpendicularité aux surfaces pressées, la concavité du fond, l'accroissement des rayons de courbure des tôles, toutes ces circonstances ne peuvent qu'ajouter à la résistance du carneau.

Les tubes Galloway sont tronconiques, la plus grande base tournée vers le haut de manière à faciliter le dégagement des bulles de vapeur. En prévenant leur cheminement le long de la paroi, on obtient, à la fois, une protection plus efficace de celle-ci et une transmission plus rapide de la chaleur. A ce point de vue, la verticalité de tous les tubes, comme dans l'ancien modèle, serait un peu plus avantageuse.

Nous avons traduit, sur la planche XI, les pieds et pouces anglais en cotes métriques ; on ne sera donc pas surpris du nombre inusité de décimales significatives. Ainsi le corps principal *A* est indiqué comme ayant une longueur de 8^m,5525 et un diamètre de 2^m,1335. Il est formé de neuf viroles, de 0^m,011, dont les trois joints longitudinaux sont double-rivés et croisés, d'une virole à l'autre, de manière à éviter une ligne continue de rivets. Les deux fonds sont en tôle de 0^m,0125 ; celui d'avant est attaché par une forte cornière, celui d'arrière est embouti. Ces fonds sont reliés au corps cylindrique par de forts goussets *a*, attachés par des cornières sur les deux faces.

Les deux foyers de 0^m,868 de diamètre ont leurs axes à 1 mètre l'un et l'autre et à 19 centimètres au-dessous de l'axe de la chaudière. Leurs trois viroles, en tôle de 0^m,0095, sont soudées longitudinalement ; elles sont reliées entre elles par un joint Adamson, obtenu par l'emboutissage extérieur des bords à la machine, et l'interposition d'un anneau soudé, de 0^m,0095 d'épaisseur. L'ouverture du foyer est munie d'une seule porte *f*, avec registre pour le réglage de l'admission d'air au-dessus de la grille, en vue de la fumivorité. La grille, formée de trois rangs de barreaux, a près de deux mètres de longueur ; elle présente une légère inclinaison vers l'autel. Les deux foyers viennent s'enfiler dans l'extrémité évasée du carneau *G* ; le raccordement se fait à l'aide d'une pièce présentant trois emboutissages. Le carneau intérieur, d'une largeur maxima de 1^m,727 et d'une hauteur de 0^m,851, est composé de sept tronçons, qui sont formés chacun de quatre feuilles de tôle : deux concentriques dont les rayons sont respectivement de 2^m,159 et 1^m,308, et deux autres cintrées suivant des demi-cercles de 0^m,425 de rayon. Toutes ces feuilles sont en tôle de 0^m,008, avec rivets de 0^m,019, placés à 0^m,0508 l'un de l'autre.

Le carneau est traversé par 33 tubes *B* ayant un diamètre de 0^m,140 à la base et de 0^m,267 à la partie supérieure. Cette conicité facilite la pose des tubes, dont les extrémités sont rabattues à la machine ; on les enfile par l'ouverture du haut, et on fixe la bride du bas à l'intérieur du carneau, tandis que l'autre est rivetée extérieurement. Ces tubes sont en tôle de 0^m,008, soudée longitudinalement ; les plus inclinés font un angle d'une douzaine de degrés avec la verticale.

Sur chaque côté du carneau *C* sont découpées deux ouvertures elliptiques fermées par des poches *b*. Ces quatre appendices ont une saillie intérieure de 0^m,254 ; ils déterminent le brassage des gaz cheminant le long des parois latérales. Comme ils offrent leur concavité à la pression de la vapeur, et que leur grand axe est vertical, ils doivent augmenter la résistance du carneau à l'écrasement et laisser au contraire plus d'élasticité dans le sens de la longueur. La disposition des joints du foyer, et la double courbure que présente latéralement la colerette d'attache, à l'arrière du carneau, tendent encore à réduire les effets des dilatations inégales.

La chaudière Galloway n'est pas munie d'un dôme de vapeur. On sait que les constructeurs anglais suppriment généralement cet organe qu'ils considèrent comme coûteux et inutile, et auquel ils reprochent d'affaiblir le corps principal sans augmenter beaucoup le volume réservé à la vapeur, ni réduire sensiblement le primage. Pour ce dernier objet, ils préfèrent installer un tube diviseur, tel que *W*, sous la prise de vapeur. On remarquera, près de la valve *V*, sur la conduite générale,

rale, un petit tuyau muni d'un robinet w , et qui sert à introduire graduellement la vapeur dans la conduite, à la mise en marche.

Deux soupapes de sûreté sont placées l'une à l'avant, l'autre vers l'arrière. La première est à poids direct, du système T. Cowburn; sur la tige de la soupape des poids annulaires sont simplement empilés jusqu'à concurrence de la pression effective.

Le manomètre et deux tubes de niveau sont disposés sur la plaque de front. Le sifflet d'alarme z , est destiné à la fois à signaler un excès de pression et le manque d'eau; il est mis en jeu par un mécanisme assez simple, mais un peu encombrant.

Sur le ciel de chacun des foyers se trouve un bouchon fusible f^1 , formé d'un alliage de plomb et de bismuth, dont la fusion, lorsqu'il cesse d'être rafraîchi par l'eau, détermine une projection de vapeur sur la grille. L'efficacité de cette disposition, généralement usitée en Angleterre, peut être compromise par l'accumulation des dépôts extérieurs ou intérieurs, ou par l'altération de l'alliage. Le bouchon fusible est placé sur un support en bronze, percé d'une ouverture; ainsi, quand ce bouchon vient à partir, il reste encore une petite couche d'eau au-dessus des foyers.

Un trou d'homme T est ménagé à l'arrière du générateur; son ouverture, dont le bord est renforcé intérieurement par un anneau, porte un encadrement en tôle, à bride dressée, sur laquelle vient se boulonner un chapeau en fonte. Un autre tampon de visite t , plus petit, est placé sur la plaque de front, et permet de visiter le dessous des foyers et du carreau intérieur.

L'eau d'alimentation, amenée à l'avant de la chaudière par la conduite E , traverse une soupape e , non fixée à l'axe du volant à main, de manière à fonctionner comme un clapet de retenue. L'eau pénètre, par une ouverture de 0^m,063 de diamètre, un peu au-dessous du niveau moyen; elle est distribuée par un tuyau perforé, de près de quatre mètres de longueur, fermé à son extrémité. Ainsi les tôles sont protégées contre le brusque contact de l'eau froide. Le robinet de vidange e^1 , placé à l'avant, communique avec la partie inférieure du corps cylindrique.

A l'intérieur, du côté opposé à celui de l'alimentation, se voit une sorte d'auget horizontal E^2 , qui s'étend sur toute la longueur de l'appareil. Cet auget, en fonte, formé de tronçons successivement introduits par le trou d'homme, est placé de manière que son ouverture arrive à peu près à la hauteur du niveau minimum. On comprendra son rôle en remarquant que l'eau, amenée directement dans des régions très chaudes, abandonne en s'échauffant les sels devenus insolubles. Ces précipités, que l'ébullition maintient quelque temps à la surface, arrivent au-dessus de l'auget, c'est-à-dire au-dessus d'une masse d'eau protégée contre les agitations; ils s'y déposent plus ou moins, et pour les extraire, il suffit d'ouvrir le robinet e^2 , communiquant d'une part avec l'auget, de l'autre avec la conduite d'égout E^3 . La valeur de ce mode d'épuration dépend de la nature des eaux introduites; efficace pour des sels que la circulation, très active avec les tubes Galloway, peut garder longtemps en suspension, il le sera beaucoup moins pour le sulfate de chaux, par exemple, qui est plus lourd et qui continue de se déposer tant que l'eau s'échauffe.

La chaudière était encastrée dans le mur de front, la bride rivetée bien accessible. A l'arrière, un intervalle de 0^m,610 entre les briques et l'extrémité du carreau C , permettait aux gaz de s'engager dans les carreaux latéraux C^1 . Ils descendaient ensuite, par les rampes c , dans le conduit C^2 , au bout duquel était installé le registre. La plaque d'avant et toute la partie supérieure de la chaudière étaient à découvert; des portes O , ménagées à travers le mur de front, donnaient accès dans les carreaux.

Une excellente disposition consiste à supporter le corps cylindrique par l'intermédiaire de deux murettes réfractaires k , ne permettant pas à l'eau provenant des fuites ou de l'humidité des maçonneries, de séjourner au contact des parois métalliques; en les corrodant, elle pourrait diminuer

leur résistance suivant une ligne continue, et rendre imminente une catastrophe (1).

Voici les principales proportions de la chaudière :

Surface de grille totale	3 ^{ma} ,20
intérieure.	73 ^{ma} ,00
Surface de chauffe { extérieure.	33 ^{ma} ,70
totale.	106 ^{ma} ,00
Rapport de la surface intérieure à la surface extérieure.	2 ,21
Rapport de la surface totale de chauffe à celle de la grille.	33
Volume moyen de l'eau	22 ^{mc} ,850
Volume moyen de la vapeur.	6 ^{mc} ,500
Surface de chauffe par mètre cube d'eau	4 ^{ma} ,63
Surface moyenne de niveau	15 ^{ma} ,70
Rapport de cette surface à la surface de chauffe.	1 : 6,7
Longueur du massif	34 ^{ma} ,00
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement.	3 ^{ma} ,10

La chaudière, étudiée pour une vaporisation de 90 pieds cubes (2647¹) par heure, à une pression normale de 5 atmosphères, avait été essayée à 150 livres par pouce, soit plus de 10 kilogrammes par centimètre carré. Elle était construite en tôle de Snedshill, la meilleure peut-être de la contrée, et dont MM. Galloway se servent depuis plus de vingt ans ; ils font souvent usage aussi de tôles du Staffordshire, première qualité.

Le générateur Galloway jouit en Angleterre d'une grande faveur. A égalité d'emplacement, il offre une surface de chauffe plus considérable qu'une chaudière Lancashire, et la chaleur y est bien plus rapidement utilisée. On peut même craindre que les premiers tubes coniques n'aient à souffrir du contact direct des flammes, et que l'espace réservé à l'inflammation des gaz, ne soit insuffisant, surtout avec les charbons du continent. La circulation très active augmente encore l'efficacité de la surface de chauffe, et tend à égaliser la température de toutes les parties de l'appareil, circonstance favorable à sa conservation. La réunion des gaz dans un carneau unique diminue aussi l'importance des dilatations inégales qui pourraient résulter d'une différence d'activité des deux foyers.

Les trois chaudières de l'Exposition, disposées côté à côté, occupaient un massif de 9^m,14 de largeur. Tous les appareils nécessaires pour leur conduite étaient rassemblés à l'avant. Chacun des contrepoids R^2 transmettait le mouvement, par chaîne et poulies, à l'un des trois registres. Les gaz, à la suite du conduit général C^3 , traversaient une chambre dans laquelle était installé un réchauffeur du système Green. La cheminée construite par MM. Cordier et fils, avait jusqu'à 48 mètres de hauteur.

En terminant ce qui concerne le générateur Galloway, nous ajouterons que MM. J. Bichon et C^{ie}, concessionnaires des brevets pour la France, ont fait subir quelques modifications au type anglais. Ainsi, pour tenir compte des habitudes françaises, un vaste dôme, chargé des accessoires a été installé au milieu de l'appareil ; deux bouilleurs réchauffeurs reçoivent d'abord l'eau d'alimentation. Chacun des foyers a été prolongé de manière à former au delà de l'autel une chambre d'inflammation. Enfin diverses simplifications, telles que la suppression des quatre poches latérales, abaissent beaucoup le prix de fabrication.

(1) En mai 1876, une chaudière de 8 pieds sur 17 de longueur, corrodée le long de la ligne d'appui, s'est déchirée suivant cette ligne, le fond restant en place, et la partie supérieure étant projetée à une grande distance, par-dessus la cheminée d'un bâtiment voisin. (*Reports to the Midland Boiler Inspection and Insurance Company.*)

GÉNÉRATEUR TUBULAIRE & A TUBES FIELD, DE MM. SÉRAPHIN FRÈRES, A PARIS

Les sections des États-Unis, de la Suède et de la Norvège étaient desservies par un seul générateur, du genre locomotive. Cet appareil, installé par MM. Séraphin frères, constructeurs bien connus à Paris, est représenté à la planche XII, fig. 1, 2, 3 et 4.

Il se compose de deux corps cylindriques : l'un horizontal, traversé par le faisceau tubulaire, l'autre vertical, renfermant le foyer dans lequel sont suspendus un grand nombre de tubes Field. En raison de la présence de ces tubes, le foyer a reçu une grande profondeur ; on voit, sur la figure 1, qu'il s'élève plus haut que le cylindre horizontal *A*. Ce dernier est donc plein d'eau, et la partie supérieure du corps vertical *D* forme seule réservoir de vapeur.

Le foyer est tronconique, sauf l'aplatissement nécessaire pour l'emmanchement du faisceau. L'inclinaison des parois, favorable au dégagement de la vapeur, est ici d'autant plus avantageuse que les tôles sont épaisse et demandent à être rafraîchies par une rapide circulation. La portion aplatie, composée d'une feuille de 0^m,024, en fer extra, n° 7 du Creusot, est consolidée par quatre tirants *a*, attachés à l'autre plaque tubulaire. Le ciel du foyer est également soutenu par quatre tirants *d*, formés de deux pièces réunies par un écrou de serrage ; de plus, il est raidie par une forte poutrelle, en forme d'égale résistance, attachée par cornières. La surépaisseur qui en résulte est moins dangereuse dans cette région, masquée par les tubes Field.

Nous avons représenté (fig. 4) à l'échelle de 1/4 l'un de ces tubes, inventés, en réalité, par J. Perkins, dès 1831. Nous rappellerons en quoi consiste leur disposition, aujourd'hui tombée dans le domaine public. Dans un tube vertical *b*, fermé par le bas, plonge un autre tube, de diamètre beaucoup moindre *b*¹, ouvert aux deux bouts et soutenu par les ailettes *b*². Le premier tube traverse le ciel du foyer, et vient pendre au-dessus de la grille. On le fixe à son extrémité supérieure, en le mandrinant simplement dans une ouverture conique.

L'eau qui recouvre le foyer pénètre librement dans les deux tubes, et la différence de densité qu'elle présente dans la colonne centrale et dans la partie annulaire, directement exposée aux flammes, détermine un mouvement ascendant entre les tubes, et descendant au milieu. La circulation, activée par la formation des bulles de vapeur, ne tarde pas à acquérir une vitesse de plusieurs mètres, capable d'entrainer non seulement les sels précipités, mais même des corps très denses, comme de la grenade de plomb.

L'installation d'un certain nombre de tubes semblables dans un générateur réalise une surface de chauffe exceptionnellement efficace; en fort peu de temps, toutes les parties de la masse d'eau sont mises en contact avec des parois fortement chauffées, et auxquelles on peut donner, en raison de cette circulation même, une très faible épaisseur. Ces tubes, attachés par une seule extrémité, ne sont d'ailleurs pas soumis à tous les inconvénients des dilatations inégales. Le seul désavantage d'une vaporisation aussi rapide est de provoquer un entraînement d'eau assez considérable; outre la perte de chaleur, cette eau, lorsqu'elle est très chargée de sels, peut devenir une source d'altérations pour les machines.

Il ne faudrait pas croire les tubes Field entièrement à l'abri des incrustations. D'abord, pendant les arrêts, les matières en suspension tendront naturellement à s'y accumuler. En marche, il convient de distinguer les sels qui se précipitent dès que l'eau a acquis une certaine température (ceux-là, entraînés par le courant, ne s'arrêteront pas dans les tubes), et ceux qui se déposent encore au moment où la vapeur prend naissance. Quelque grande qu'on suppose la vitesse de l'eau, elle sera toujours beaucoup moindre pour la couche en frottement contre les parois. Avec des eaux très sulfatées, par exemple, les bulles qui se forment au contact même du tube extérieur abandonneront des particules salines, et l'on conçoit que ce résidu, un moment isolé de l'eau et fortement pressé sur la tôle brûlante, puisse s'y incruster définitivement.

Les tubes Field sont très faciles à poser comme à démonter; l'intermédiaire d'une bague conique extérieure leur épargne toute déformation.

Dans la chaudière de MM. Séraphin, ils étaient au nombre de 123; leur écartement d'axe en axe, de 0^m,105 dans le sens de la plus grande largeur du foyer, n'était que de 0^m,090 dans l'autre.

Le faisceau horizontal, concentrique avec la calandre, comprenait 78 tubes rangés par colonnes verticales, avec un écartement uniforme de 0^m,100. La disposition en quinconce, moins favorable au dégagement de la vapeur, conserve aux plaques tubulaires une résistance plus uniformément distribuée. Sous la boîte à fumée, était attaché un conduit en tôle, renfermant le registre, et emmanché dans un carneau vertical en maçonnerie, ainsi qu'on le voit sur la planche IX (générateur Fives-Lille).

A l'avant, l'appareil reposait, par un cadre en fer forgé *B*, riveté avec les tôles du cylindre vertical et du foyer, sur un socle en fonte formant cendrier. Les barreaux de la grille circulaire étaient posés sur un anneau en fer *g*, soutenu par quatres petites cales *h*, assises sur des consoles venues de fonte avec le socle.

La porte du foyer était entourée d'un cadre en fer, riveté aux deux cours de tôle. C'est la disposition la plus usitée, mais non la plus satisfaisante. Sur le pourtour de la porte, une bande de près d'un décimètre de largeur se trouve exposée à un feu intense, sans que l'eau puisse la rafraîchir.

Pour faciliter l'enlèvement des dépôts qui tendent surtout à s'accumuler dans cette partie de l'appareil, quatre bouchons de lavage *t*, ont été disposés au-dessus du cadre *B*, en outre du robinet de vidange *e*. Un autre bouchon *t₁* est placé à l'arrière, sous le faisceau.

L'arrivée d'eau se fait près de la boîte à fumée, à une certaine distance cependant de la plaque tubulaire, qu'il y a intérêt à ne pas refroidir trop brusquement. Au point de vue d'une circulation méthodique, l'eau devrait pénétrer par la partie inférieure; l'une des raisons pour lesquelles, dans les chaudières du genre locomotive, on place le tuyau d'alimentation à la hauteur de l'axe est celle-ci, qu'en cas de refoulement vers les pompes, le niveau n'est pas exposé à s'abaisser au-dessous du faisceau tubulaire. Si pareil accident arrivait avec le générateur actuel,

plus de la moitié des tubes risqueraient d'être brûlés. Le tuyau d'alimentation est muni d'un clapet de retenue *E*.

On voit sur les figures 1 et 2 la position des divers accessoires. Une enveloppe en tôle mince recouvrail les deux cylindres, dont presque tous les joints étaient double-rivés.

MM. Séraphin avaient installé sur la berge une chaudière semblable, mais plus petite, desservant l'annexe de la classe 67. Nous donnons ci-dessous les principales dimensions des deux appareils.

Cylindre horizontal	{ diamètre	1 ^m ,300	1 ^m ,250
	{ longueur	4 ^m ,710	4 ^m ,417
Cylindre vertical	{ diamètre	1 ^m ,846	1 ^m ,678
	{ longueur	4 ^m ,250	3 ^m ,650
Foyer	{ diamètre inférieur	1 ^m ,656	1 ^m ,500
	{ d ^o supérieur	1 ^m ,426	1 ^m ,230
	{ hauteur	2 ^m ,420	2 ^m ,320
	{ nombre	78	78
Tubes de fumée	{ diamètre	0 ^m ,080	0 ^m ,070
	{ longueur	5 ^m ,000	4 ^m ,476
	{ nombre	423	106
Tubes Field	{ diamètre	0 ^m ,060	0 ^m ,060
	{ longueur	0 ^m ,900	0 ^m ,800

Épaisseurs des tôles.

Cylindre horizontal	{ 8 feuilles	0 ^m ,011	0 ^m ,0105
	{ fondtubulaire	0 ^m ,022	0 ^m ,021
Cylindre vertical	{ 5 feuilles	0 ^m ,014	0 ^m ,013
	{ calotte	0 ^m ,016	0 ^m ,015
Collerette de jonction des deux cylindres		0 ^m ,013	0 ^m ,012
Foyer	{ 3 feuilles	0 ^m ,017	0 ^m ,016
	{ plaque tubulaire	0 ^m ,024	0 ^m ,023
	{ fond tubulaire	0 ^m ,024	0 ^m ,023
Tubes de fumée		0 ^m ,0035	0 ^m ,003
Tubes Field	{ extérieur	0 ^m ,0025	0 ^m ,0025
	{ intérieur	0 ^m ,002	0 ^m ,002
Grille	{ surface totale	2 ^{mq} ,13	1 ^{mq} ,75
	{ section libre	0 ^{mq} ,60	0 ^{mq} ,35
Surface de chauffe	{ foyer	12 ^{mq} ,56	11 ^{mq} ,72
	{ tubes de fumée	94 ^{mq} ,34	73 ^{mq} ,45
	{ tubes Field	20 ^{mq} ,81	15 ^{mq} ,94
	{ totale	127 ^{mq} ,71	101 ^{mq} ,41
Rapport de la surface de chauffe à celle de la grille		6	5 ,7
Volume moyen de l'eau		8 ^{mc} ,400	6 ^{mc} ,800
Id. de la vapeur		3 ^{mc} ,400	1 ^{mc} ,840
Surface de chauffe par mètre cube d'eau		15 ^{mq} ,20	14 ^{mq} ,8
Niveau moyen de l'eau au-dessus du foyer		0 ^m ,550	0 ^m ,500

Surface moyenne de niveau	2 ^{mq} ,67	2 ^{mq} ,21
Rapport de cette surface à la surface de chauffe	1 : 47,8	4 : 45,7
Surface d'emplacement	13 ^{mq} ,500	11 ^{mq} ,00
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	9 ^{mq} ,40	9 ^{mq} ,00
Section du faisceau tubulaire	0 ^{mq} ,39	0 ^{mq} ,30
Rapport de cette surface à celle de la grille	1 : 5,48	1 : 5,56
Timbre	5 kil.	5 kil.

Nous avons déjà apprécié, à propos du générateur Fives-Lille, l'introduction du genre *locomotive* dans l'industrie. Nous avons signalé son installation si facile et si peu encombrante, sa grande puissance de vaporisation et son rendement élevé; nous avons reconnu aussi les côtés fâcheux qu'il présente au point de vue des incrustations, de l'entraînement d'eau et des variations accidentelles du niveau. L'addition des tubes Field tend à exagérer à la fois ces avantages et ces inconvénients, c'est-à-dire à déterminer plus spécialement encore les cas où le système peut être appliqué.

Avec la chaudière de MM. Séraphin, la mise en pression sera plus rapide et la vaporisation très intense; elle atteignait, à l'Exposition, jusqu'à 1,800 litres par heure. Mais la circulation violente dans les tubes, la réduction considérable de la surface libre de l'eau et de l'espace réservé à la vapeur ne peuvent qu'augmenter le primage, surtout quand l'appareil est surmené. Aucune autre disposition n'a été prise, pour sécher un peu la vapeur, que de relever le point d'aspiration par un tuyau intérieur.

D'autre part, les matériaux de choix qu'exige ce type de générateur, et les soins apportés à sa construction, le rendent assez coûteux. En somme, il ne s'est guère répandu; les industriels demandent de préférence, à MM. Séraphin, des chaudières dites semi-tubulaires.



GÉNÉRATEUR SEMI-TUBULAIRE DE M. L. FONTAINE, A LA MADELEINE-LÈZ-LILLE (NORD).

Fondée en 1832 par MM. François et Louis Fontaine, et aujourd'hui dirigée par leurs fils et successeurs, la maison Fontaine a suivi dans son développement les progrès récents de l'industrie des sucres, puis de la distillerie, dans le département du Nord. Ses ateliers de la Madeleine-lès-Lille et de Roubaix produisent annuellement environ 2,000 tonnes de matériel pour usines. En 1878, elle avait installé le groupe de deux chaudières fournissant la vapeur aux sections de l'Autriche-Hongrie et de l'Espagne.

Ces appareils sont représentés à la planche XIII; ils appartiennent au type généralement appelé semi-tubulaire, qu'un grand nombre de constructeurs reproduisent, et qui n'est autre chose que la chaudière à bouilleurs, avec retour de flamme par des tubes traversant le corps principal. Cette disposition a naturellement pour objet d'augmenter la surface de chauffe et de mieux utiliser la chaleur emportée par les gaz.

Dans l'exemple actuel, la chaudière *A* est d'une longueur de 4^m,500 et d'un diamètre intérieur de 1^m,600; elle est reliée, par des cuissards de 0^m,340, avec deux bouilleurs *B*, de 6^m,240 de longueur et 0^m,750 de diamètre. Ces derniers traversent à chaque bout les maçonneries, et se terminent par des fonds en fonte munis d'autoclaves *T*. La chaudière reste à une certaine distance des murs, et ses deux fonds, en forte tôle, sont traversés par 50 tubes horizontaux *c*, de 0^m,400 de diamètre, groupés dans la moitié inférieure du cylindre.

Grâce aux cloisons *K* et *k*, en briques réfractaires, les gaz ne peuvent s'élever immédiatement jusqu'aux tubes. Ils enveloppent d'abord, dans la chambre *C*, les bouilleurs et le bas de la chaudière; ils passent ensuite derrière la cloison *k'*, s'engagent en *c'*, dans le faisceau tubulaire, et, ramenés en *C²*, sont dirigés dans une chambre latérale *C³*, renfermant deux réchauffeurs *B¹* et *B²*. Cette chambre est séparée, par la cloison *K'*, en deux compartiments que le courant doit parcourir, avant d'être conduit à la cheminée par le carneau *C⁴*, dans lequel est installé le registre.

La chaudière est surmontée en son milieu par un dôme de vapeur de 1^m,300 de hauteur, et 0^m,800 de diamètre. Sur les tubulures du chapeau sont placées les valves de prise de vapeur et les soupapes. Celles-ci ont un diamètre de 0^m,100, avec un recouvrement de 0^m,001 de largeur; les bras du levier ont respectivement 0^m,11 et 0^m,80; le contre-poids pèse 55 kilogrammes.

Derrière le dôme se trouve un indicateur Lethuillier-Pinel, à double sifflet, et dont la course est de 0^m,210. Les autres accessoires : le manomètre, les tubes de niveau (système L. Foucque), sont disposés sur la devanture.

La plaque de front est percée d'une porte *O*, à deux battants, qui permet de nettoyer l'intérieur du faisceau tubulaire, dont l'autre extrémité est accessible par l'ouverture *o*.

Les réchauffeurs ont une longueur de 6^m,250 et un diamètre de 0^m,600. Ils présentent une légère inclinaison : celui du bas, vers l'avant ; l'autre, en sens inverse.

L'eau froide est introduite dans le premier ; elle arrive au second par le tube *b*² ; de là, elle est conduite à la chaudière par un long tuyau *b*¹, et un embranchement horizontal relié aux deux bouilleurs. Sur cet embranchement se trouve un robinet *b*, servant à vider l'appareil ; la vidange des réchauffeurs s'opère par le robinet *E*², monté près de la valve d'alimentation *e*.

Un bouchon de lavage est placé en *t*, sous le faisceau tubulaire ; un espace dépourvu de tubes a été réservé au milieu du faisceau pour faciliter un peu les nettoyages.

Les plaques tubulaires étaient consolidées par des goussets ; les joints longitudinaux du corps principal présentaient une double rivure. Les bouilleurs, le dôme, les plaques, étaient en tôle n° 5, de Denain. Les tubes, de la marque *Andrews and Son*, étaient à emmanchement Berendorf, sauf quatre qui étaient bagués. Voici les épaisseurs des diverses parties :

Chaudière	{ cylindre	0 ^m 014
	{ fond	0 024
Cuissards		0 013
Bouilleurs	{ cylindre	0 0105
	{ fonds en fonte	0 040
Réchauffeurs	{ cylindre	0 010
	{ fonds en fonte	0 040
Dôme	{ cylindre	0 013
	{ chapeau en fonte	0 045

Les proportions de l'appareil sont les suivantes :

Surface de grille		2 ^{mq} 10
Surface libre de grille		0 70
	{ chaudière	11 50
	{ 50 tubes	70 50
Surface de chauffe	{ 2 bouilleurs	28 00
	{ 2 réchauffeurs	24 00
	totale	132 00

Rapport de la surface de chauffe des réchauffeurs à celle de la chaudière

 y compris les bouilleurs et les tubes

1 : 5

Rapport de la surface de chauffe totale à celle de la grille

62,8

Volume total et moyen de l'eau

13^{me}

 Id. id. de la vapeur

3 4

Surface de chauffe par mètre cube d'eau

13^{mq}

Surface moyenne de niveau

6 80

Rapport de cette surface à la surface de chauffe

1 : 19

Surface d'emplacement du groupe

50^{mq}

Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement

5 3

La chaudière était timbrée à 5 kil. La section du faisceau tubulaire est de 0^{mo}39, soit environ le 1/5 de la surface de la grille.

Comme type semi-tubulaire, le générateur Fontaine présente des dispositions bien étudiées. La combustion s'opère en d'excellentes conditions; les gaz arrivant assez refroidis dans les tubes, ceux-ci s'encaissent moins. Il importe de veiller à ce que les cloisons *K*, portées à une haute température, soient toujours maintenues en bon état. La plus grande partie des dépôts s'accumulant dans les réchauffeurs et dans les bouilleurs, les tubes Berendorf renconteront moins de difficultés dans leur démontage.

L'addition d'une surface de chauffe intérieure ne peut qu'améliorer le rendement, au prix, il est vrai, de quelques sujétions (nettoyages intérieurs et extérieurs des tubes, surveillance plus attentive du niveau). L'installation des réchauffeurs est avantageuse au même point de vue, d'abord en refroidissant davantage les produits de la combustion, et aussi en isolant mieux les maçonneries rencontrées par les flammes.

La grille, du système de M. Newbold, de Nottingham, était formée de barreaux en fonte présentant une série de dents sur les deux faces: chaque dent vient s'emboiter entre deux dents consécutives du barreau voisin, en laissant, d'un barreau à l'autre, un intervalle sinueux qui distribue l'air plus uniformément, mais qui doit être moins facile à décrasser.

La cheminée, élevée par M. Joachim, constructeur à Paris, avait une hauteur de 35^m,50, et un diamètre intérieur de 90 centimètres au sommet.

**GÉNÉRATEURS SEMI-TUBULAIRES, DE M. L. LE BRUN A CREIL (OISE),
ET DE MM. MEUNIER ET C^{IE} A FIVES-LILLE (NORD).**

Nous rapprocherons du groupe Fontaine deux autres groupes, également composés chacun de deux chaudières semi-tubulaires, et qui étaient installés dans l'usine du quai de Billy, pour le service des eaux de l'Exposition. L'un, établi par M. Le Brun, desservait les pompes du même constructeur; l'autre, disposé par MM. Leconteux et Garnier pour fournir la vapeur à leurs machines, comprenait deux générateurs construits par MM. Meunier et C^{ie}.

Tous ces appareils étaient, à peu de chose près, de la même forme que celui figuré à la planche XIII ; l'installation générale et la disposition des carreaux présentaient quelques différences.

Dans la chaudière Le Brun, le faisceau tubulaire est presque concentrique à la calandre ; l'eau s'élève jusqu'aux 5/6 du diamètre vertical. Les produits de la combustion échauffent d'abord les bouilleurs et la partie inférieure du corps principal, reviennent à travers les tubes, et s'engagent enfin dans deux carreaux qui longent de chaque côté les parois de la chaudière. Un réchauffeur est installé entre les deux générateurs ; il est en contact, de part et d'autre, avec les gaz parcourant les deux carreaux latéraux qui se trouvent contigus.

Dans la chaudière Meunier, les tubes sont rassemblés dans la moitié inférieure de la calandre. Les gaz n'enveloppent que les bouilleurs, dans leur premier parcours ; après avoir traversé le faisceau, ils retournent vers l'arrière en échauffant le corps principal, et s'échappent sans rencontrer de réchauffeur.

Le tableau suivant permettra de comparer les deux groupes :

Générateurs		Le Brun	Meunier.
Corps principal . . .	{ longueur	4 ^m 500	4 ^m 500
	{ diamètre	1 800	1 700
Bouilleurs	{ longueur	6 550	6 140
	{ diamètre	0 800	0 700
	{ écartement d'axe en axe	1 570	0 840
Communications . . .	{ longueur	0 400	0 500
	{ diamètre	0 500	0 374
Réchauffeur	{ longueur	6 050	—
	{ diamètre	0 800	—
Dôme de vapeur	{ hauteur	1 900	1 100
	{ diamètre	1 000	0 900
	{ nombre	80	48
Tubes de fumée	{ longueur	4 ^m 500	4 500
	{ diamètre intérieur	0 110	0 100
Épaisseur des parois.			
Corps principal	{ cylindre	0 ^m 015	0 ^m 015
	{ plaques tubulaires	0 025	0 020
Bouilleurs	{ cylindre	0 0115	0 010
	{ fonds	0 012	0 040 (fonte).
Communications		0 011	0 013
Réchauffeur	{ cylindre	0 010	—
	{ fonds	0 011	—
Dôme de vapeur	{ cylindre	0 010	0 012
	{ fonds	0 011	0 040 (fonte).
Tubes de fumée		0 004	0 0035
Grille	{ longueur	1 400	1 700
	{ largeur	2 400	1 500
	{ surface	3 ^m 36	2 ^m 55

Surface de chauffe	du corps principal	21 ^{mq} 00	13 ^{mq} 20
	des deux bouilleurs	29 00	24 00
	de la moitié du réchauffeur	6 00	—
	du faisceau tubulaire	124 00	67 80
	totale	180 00	105 00
Rapport de la surface des tubes à la surface, totale de chauffe . .	1 : 1.45	1 : 1.55	
Rapport de la surface totale de chauffe à celle de la grille	53.5	41.1	
Volume moyen de l'eau	15 ^{mc}	9 ^{mc} 600	
Id. id. de la vapeur	2 800	4 300	
Surface de chauffe par mètre cube d'eau	12 ^{mq} 900	10 ^{mq} 90	
Surface moyenne de niveau	5 90	7 30	
Rapport de cette surface à la surface de chauffe	1 : 30	1 : 14.3	
Surface d'emplacement du groupe	55 ^{mq} 50	31 ^{mq}	
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	3 20	3	
Section du faisceau tubulaire	0 76	0 37	
Rapport de cette surface à celle de la grille	1 : 4.4	1 : 6.9	
Timbre	6 ^{kil}	6 ^{kil}	

Les bouilleurs du groupe Meunier sont disposés exactement comme ceux du groupe Fontaine. Dans la chaudière de M. Le Brun, les bouilleurs ne traversent que le mur de front; l'autre extrémité, en forme de calotte sphérique, est enveloppée par les gaz. Le réchauffeur central est installé de la même manière. Il reçoit, à l'arrière, l'eau d'alimentation, par une tubulure traversant la maçonnerie supérieure; à l'avant, il est mis en relation d'une part avec le bouilleur le plus voisin de chacun des générateurs, de l'autre avec les deux dômes de vapeur; des robinets montés sur les tuyaux de communication permettent d'isoler, au besoin, l'une des chaudières. L'axe de ce réchauffeur est à la même hauteur que celui des deux calandres; il est bon de lui donner une légère pente vers l'arrière, pour assurer le dégagement de l'air et de la vapeur que l'eau ne peut manquer d'abandonner.

En comparant les groupes Fontaine, Le Brun et Meunier, on reconnaîtra combien il est difficile, par des modifications de détail sur un type donné, de réaliser un avantage quelconque sans introduire, du même coup, un inconvénient, et combien il faut se préoccuper, dans le choix d'un appareil, des circonstances spéciales où il est appelé à fonctionner.

Le générateur semi-tubulaire, imaginé en vue de concilier le principe des chaudières à bouilleurs et celui des chaudières tubulaires, participe nécessairement des avantages et des inconvénients des deux systèmes. Moins encombrant que les premières, et d'une mise en pression plus rapide, il est aussi plus coûteux, plus difficile à conduire et à entretenir. D'autre part, si la combustion y est plus complète que dans les foyers intérieurs, il reste, en partie, soumis aux déperditions inséparables de l'échauffement des maçonneries.

Ces déperditions, pour un carreau donné, sont évidemment proportionnelles à la température des gaz qui le parcourent. Il est donc avantageux de faire circuler des gaz les plus chauds dans les tubes. A ce point de vue, la disposition de MM. Meunier semblerait préférable à celle de M. Fontaine, si la voûte construite au-dessus des bouilleurs pour les isoler du corps principal, et traversée par les quatre cuissards, ne présentait des chances sérieuses de dégradation.

La chaudière Meunier n'était pourvue d'aucun réchauffeur; les produits de la combustion s'échappaient donc à une température élevée, d'autant plus que leur passage à travers le faisceau,

d'une section un peu restreinte par rapport à la surface de la grille était assez rapide, et par conséquent moins favorable à la transmission de la chaleur.

Dans le générateur Le Brun, au contraire, le faisceau offrait aux gaz (en supposant leur répartition à peu près uniforme entre les tubes) une section spacieuse ; la surface de chauffe, intérieure et extérieure, se trouvait considérablement accrue, mais au prix d'une réduction de la surface du plan d'eau et de la capacité de la chambre de vapeur. Pour corriger la tendance au primage, le constructeur avait donné au dôme près d'un mètre cube et demi de capacité ; ce dôme était en deux pièces : un corps cylindrique, boulonné sur un socle riveté à la calandre.

Grâce à l'addition d'un réchauffeur, l'eau d'alimentation arrivait déjà chaude dans les bouilleurs, et en partie débarrassée de ses sels. Toutefois, il ne semble pas tout à fait conforme aux principes d'exposer à un même parcours de gaz un réchauffeur et une portion de la chaudière. Pour que les derniers mètres de la surface de chauffe du générateur absorbent une quantité appréciable de chaleur, malgré les circonstances qui s'opposent à cette transmission (faible conductibilité des gaz, dépôts de suie sur les parois, etc.), en un mot pour qu'ils *payent* les frais de construction et d'installation qu'ils représentent, il est nécessaire que les gaz conservent, jusqu'au bout, une température très supérieure à celle de la vapeur. Des réchauffeurs placés à la suite, et remplis d'eau relativement froide, pourront abaisser utilement cette température, ce qui ne saurait avoir lieu avec la disposition adoptée par M. Le Brun. Il pourrait même arriver, avec une combustion très active, que le réchauffeur fonctionnât comme un véritable bouilleur. Sans doute, le constructeur a eu soin de mettre un registre à l'extrémité de chacun des carneaux qui longent la chaudière ; on peut, en les manœuvrant, empêcher les gaz trop chauds de passer sur le réchauffeur, et les forcer à s'engager dans l'autre carreau seulement, mais on voit que cela revient à réduire la surface de chauffe, précisément lorsque la quantité de chaleur disponible devient plus grande.

Dans le générateur Meunier, comme dans celui de M. Fontaine, la largeur de la grille était inférieure à la projection extérieure des bouilleurs ; dans l'appareil de M. Le Brun, au contraire, la grille dépassait de chaque côté les bouilleurs, beaucoup plus écartés que dans les deux autres groupes. La solution intermédiaire, consistant à donner comme largeur à la grille la projection même des bouilleurs, nous paraît la plus simple et la plus satisfaisante.

Le foyer de la chaudière Le Brun comprenait en réalité deux grilles, une sous chaque bouilleur, séparées par un autel longitudinal ; chacune d'elles était desservie par des portes spéciales. Cette disposition peut présenter quelques commodités pour le chargement, mais ne saurait qu'augmenter les pertes par rayonnement et par conductibilité. On ne voit pas la nécessité d'une surface de grille aussi étendue, entraînant un grand excès d'air, pour un appareil dont les gaz s'échappent à une température encore élevée.

Nous ferons une dernière remarque au sujet des générateurs semi-tubulaires, dont l'emploi est assez répandu, en raison même du goût des industriels pour les appareils mixtes, qui semblent répondre à un plus grand nombre de conditions possibles. Les plaques tubulaires, affaiblies par de nombreuses découpures, doivent être suffisamment consolidées. Quelques constructeurs pensent avoir tout fait pour la sécurité, en baguant un certain nombre de tubes. Il est difficile de compter qu'un tube, parcouru intérieurement par les gaz et dont la dilatation tend à écarter les deux fonds, puisse agir comme tirant ; on sait qu'au contraire il tendra à se fausser par compression. Les seules armatures efficaces sont les goussets, ou bien les véritables tirants, en fer plein, comme ceux que MM. Meunier ont substitués à quatre des tubes de leur chaudière.

**GÉNÉRATEUR TUBULAIRE, A FOYER TEN BRINK ET A RÉCHAUFFEUR MULTITUBULAIRE,
DE MM. SULZER FRÈRES, A WINTERTHUR (SUISSE).**

Le dernier groupe de la section étrangère comprenait cinq générateurs, fournis, deux par des constructeurs suisses (MM. Sulzer frères et MM. Escher, Wyss et C^{ie}), et les trois autres par des constructeurs belges (M. Mac Nicol, MM. de Naeyer et C^{ie}, et MM. Barbe, Petry et C^e). Ces appareils, installés côte à côte, représentaient une surface totale de chauffe de 480 mètres carrés, et une douzaine de mètres de surface totale de grille.

Un carneau général, de 1^m,40 de hauteur sur 0^m,85 de largeur, conduisait les gaz à la cheminée ; celle-ci, de 30 mètres de haut et d'un diamètre intérieur de 1 mètre au sommet, avait été construite, ainsi que les fourneaux, par M. Joachim.

Les cinq chaudières furent primitivement chargées d'alimenter une même conduite de vapeur, desservant les sections contiguës de la Suisse et de la Belgique ; plus tard, l'administration fit établir une seconde conduite, de manière à supprimer tout sujet de contestation entre des exposants de nationalité différente. Il y eut, dès lors, deux groupes distincts ; nous nous occuperons d'abord du groupe suisse, qui offrait, dans un emplacement de 39 mètres carrés, une surface de chauffe de 120 mètres.

Les deux chaudières sont représentées, celle de MM. Sulzer frères à la planche XIV, celle de MM. Escher et Wyss à la suivante.

La maison Sulzer, bien connue pour son système de machines *Compound*, a été fondée à Winterthur (canton de Zurich), en 1834. A la tête de l'industrie suisse, elle occupe actuellement 1,200 ouvriers à la construction et à l'installation du matériel pour les usines, les mines, la navigation, l'artillerie, l'élévation de l'eau dans les villes, l'éclairage au gaz, le chauffage des grands établissements, etc.

Ses chaudières, pour lesquelles elle fait venir les tôles d'Allemagne et du Creusot, appartiennent aux systèmes les plus variés. En 1873, elle avait exposé à Vienne une chaudière à foyers intérieurs, avec tubes bouilleurs du genre Galloway. A l'Exposition de 1878, elle a installé un générateur tubulaire qui présentait d'intéressantes particularités.

L'un des reproches généralement adressés au système tubulaire est de donner lieu à une grande production de fumée, par suite de l'extinction à peu près complète des flammes, lorsqu'elles pénètrent dans le faisceau. Le dépôt de suie qui en résulte diminue la conductibilité des tubes ; ainsi les gaz s'échappent à la fois très chauds et très riches en particules combustibles,

double cause d'abaissement pour le rendement. MM. Sulzer la suppriment par l'application d'un foyer fumivore du système Ten Brink, et, pour simplifier son raccordement avec la chaudière, ils donnent à celle-ci une position perpendiculaire à la grille, c'est-à-dire inclinée de 42° sur l'horizontale.

Du même coup, la hauteur du plan d'eau se trouve considérablement augmentée, ce qui fait disparaître un des plus dangereux inconvénients des foyers intérieurs. La réduction de la surface libre tend à favoriser l'entraînement d'eau, mais la vapeur est ensuite desséchée par son contact avec le faisceau tubulaire, qui émerge sur une grande longueur. Cette partie de la surface de chauffe étant beaucoup moins efficace que celle baignée par l'eau, les gaz, à leur sortie des tubes, conservent une température assez élevée pour qu'il y ait avantage à leur faire envelopper le corps principal, disposé, à cet effet, dans une chambre en maçonnerie.

Le foyer fumivore imaginé par M. Ten Brink, il y a une vingtaine d'années, a reçu depuis des dispositions très variées ; le principe de l'appareil est toujours de déterminer le brassage et l'inflammation des gaz, en les obligeant à revenir vers l'avant de la grille, où, par l'effet d'un excès d'air, la combustion est beaucoup plus active.

Dans la chaudière Sulzer, la grille est disposée dans un foyer intérieur *F* (fig. 1) traversant le corps principal à son extrémité inférieure. L'axe du foyer et celui du générateur se coupent à angle droit, et sont situés dans le même plan vertical. La grille est donc inclinée de 48° ; elle est supportée par un sommier *g*, de forme convenable, encastré dans les murs du cendrier. L'autre bout des barreaux vient s'appuyer contre une sorte de trémie de chargement, également inclinée, et fermée par une porte *f*. Immédiatement au-dessus se trouve un conduit parallèle, muni d'une porte *o*, et par lequel se fait l'injection d'air nécessaire à la complète combustion des gaz. La trémie repose, par son extrémité inférieure, sur un support riveté aux parois du foyer ; elle est soutenue à l'autre extrémité par une plaque de fonte, boulonnée aux maçonneries, et sur laquelle est attachée une porte *f'*, permettant de piquer le feu par dessous. Le cendrier présente une large ouverture pour l'arrivée de l'air sous la grille, et aussi pour la sortie des cendres et des scories. Celles-ci doivent toujours former, contre le mur du fond, un talus assez élevé pour combler l'intervalle entre ce mur et le sommier *g*.

Le combustible, chargé par la trémie, vient s'étaler sur la grille de manière à former une couche très mince vers le haut, et d'épaisseur rapidement croissante en descendant. La quantité d'air qui peut passer à travers cette couche est donc d'autant plus grande que l'on considère des points plus élevés. La combustion du charbon chargé à la partie supérieure de la grille s'opère ainsi en présence d'un excès d'air, auquel viennent se mêler les produits de la distillation des fragments qui ont roulé plus bas, et l'oxyde de carbone dégagé par la masse inférieure de coke incandescent. Tous ces gaz, énergiquement brassés dans leur mouvement de retour, rencontrent enfin la nappe d'air arrivant par l'ouverture *o* ; leur inflammation s'achève dans la chambre *C*, qui débouche d'une part dans le foyer, et se termine de l'autre par une plaque tubulaire. Cette chambre a reçu une forme tronconique, ce qui augmente sa capacité et permet l'emmanchement d'un plus grand nombre de tubes.

Les dimensions de l'appareil sont les suivantes :

Corps principal	longueur	5 ^m 440
	diamètre	1 580
	épaisseur cylindre	0 013
	des tôles. fond convexe	0 016
	fond tubulaire	0 020

Foyer	{ diamètre	0 ^m 900	
	épaisseur	0 014	
	longueur	0 700	
Chambre d'inflammation .	{ diamètre . { inférieur	0 750	
		supérieur	1 100
	épaisseur . { cône	00 14	
		plaqué tubulaire	0 020
	nombre	85	
Tubes	{ longueur	3 ^m 400	
	diamètre	0 065	
	épaisseur	0 0025	

Le foyer et la chambre d'inflammation étaient en acier doux ; les plaques tubulaires en tôle extra du Creusot. Tous les joints étaient à double rang de rivets. Un garnissage en maçonnerie réfractaire protégeait le ciel du foyer, au-dessus du conduit d'injection d'air. Les tubes, soudés et étirés, étaient simplement rivés sur les plaques.

A leur sortie du faisceau, les gaz circulent autour du corps principal, dans la chambre en maçonnerie, et sont ramenés vers l'avant par la cloison métallique *k*. Ils passent ensuite dans le compartiment *C¹*, où se trouve le réchauffeur multitubulaire, installé au-dessus du carneau de départ *C²*.

Ce réchauffeur est en fonte ; il se compose d'un certain nombre de tuyaux verticaux *L*, de 160 millimètres de diamètre intérieur, sur lesquels sont venus de fonte d'autres tuyaux *I*, branchés perpendiculairement, et fermés à leur extrémité. Ces derniers sont divisés en deux parties par un diaphragme horizontal qui s'étend jusqu'à une petite distance de l'extrémité. Ces éléments, constituant chacun une sorte de serpentin, sont boulonnés aux deux bouts sur des tubulures distribuées le long de deux collecteurs horizontaux *E*, *e¹*. L'ensemble figure un parallélépipède dont les dimensions peuvent varier avec l'importance de la chaudière, et qui dans celle de l'Exposition avait environ 1^m,50 de haut, sur 1^m,20 de long et 1^m,70 de large. Les tubes horizontaux étaient au nombre de 40. Ces tubes sont légèrement coniques, pour faciliter le dégagement de l'air et de la vapeur ; leur diamètre intérieur moyen est de 100 millimètres avec une épaisseur de 15 millimètres. Au droit de chacun d'eux, sur le tuyau vertical correspondant, est disposé un bouchon de nettoyage.

La surface offerte aux gaz par ce réchauffeur est de plus de 20 mètres carrés ; son efficacité est augmentée par les diaphragmes des tubes, qui provoquent la circulation de l'eau, et conduisent vers l'intérieur la chaleur absorbée par les parois. La disposition multitubulaire a l'avantage de pénétrer la masse des gaz chauds et de la refroidir rapidement dans toutes ses parties. Elle ne devient gênante que si le tirage est insuffisant. L'emploi de la fonte met l'appareil à l'abri des dangers qui menacent les réchauffeurs ordinaires, lorsque la température des gaz est trop abaissée. La vapeur d'eau provenant de la combustion, des fuites ou de l'humidité des maçonneries, se condense alors sur les tôles, très refroidies par l'alimentation, et les ronge rapidement en présence de l'oxygène libre, de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux que la fumée contient presque toujours. La fonte, qui s'emploie du reste avec des épaisseurs plus fortes, est beaucoup moins altérable que le fer, dans les mêmes conditions.

L'eau froide, arrivant en *E*, est admise par le robinet *e* dans le collecteur inférieur. Sa température à la sortie du réchauffeur peut être constatée en introduisant un thermomètre dans le coude *E²*. Un clapet *e²*, permet de régler l'admission d'eau à la partie supérieure de la chaudière.

Le robinet de vidange e^3 est placé à l'autre extrémité ; le tuyau d'évacuation du réchauffeur est branché sur la conduite E . Les tubes de niveau N , sont précédés d'une bouteille.

La prise de vapeur est installée au point le plus élevé de la chaudière ; à l'aide du volant v^1 , on peut manœuvrer la valve depuis le sol. La chambre de vapeur est divisée en deux compartiments par la cloison en tôle a , percée d'un grand nombre de petites ouvertures et destinée à empêcher l'entrainement de l'eau.

Les constructeurs disposent souvent des plaques intérieures, à une petite distance des parois les plus exposées au feu, et sur lesquelles il importe d'activer la circulation et de prévenir la formation des dépôts. Un tampon de visite est appliqué sur chacun des fonds du générateur.

Les maçonneries sont construites parallèlement à l'appareil, dont la position est assurée par quatre oreilles en fonte b . Le carrelage supérieur p est soutenu par de petites voûtes s'appuyant sur des fers à T, encastrés dans les murs latéraux. Dans ces murs sont emprisonnées des couches d'air isolantes. Les pertes par rayonnement ne peuvent être considérables, les produits de la combustion arrivant déjà très refroidis dans la chambre en maçonnerie.

Ces produits, comme on l'a vu, enveloppent complètement le corps cylindrique, à partir de son encastrement, près du foyer. Par cette disposition, les joints d'attache de tous les accessoires (prise de vapeur, tubes de niveau, etc.), généralement sujets à des fuites, se trouvent en contact constant avec le courant gazeux et les agents corrosifs qu'il renferme. L'action de ces derniers ne peut être que favorisée par la formation de dépôts sur la chaudière, dont la partie supérieure ne semble pas facilement accessible.

Le ramonage du faisceau tubulaire s'exécute après avoir démasqué une large ouverture O , ménagée dans le mur d'arrière ; une ouverture analogue permet de nettoyer les tubes du réchauffeur ; enfin un ouvreau latéral donne accès dans la chambre en maçonnerie.

Au point de vue de l'entretien intérieur, l'appareil est exposé aux désavantages du système tubulaire, lorsque les eaux sont très impures. Le faisceau, il est vrai, ne plonge pas tout entier dans le liquide, mais cette circonstance ne paraît pas devoir améliorer la situation des tubes. Si leur partie immergée reste exposée aux incrustations, la partie supérieure, portée à une haute température, en présence de la vapeur et de l'air chaud qui provient de l'eau même (très oxygéné par conséquent), doit donner lieu à des oxydations plus ou moins vives. D'autre part, l'échauffement des tubes et les dilatations qui en résultent ne peuvent qu'augmenter les chances de fuites.

La surface de chauffe, dans les tubes comme autour du cylindre, est en grande partie formée de parois en contact avec la vapeur. Les constructeurs font remarquer qu'avant d'atteindre ces parois les gaz ont parcouru une surface de chauffe baignée d'eau, d'une étendue égale à plus de 25 fois celle de la grille.

En Allemagne, la loi actuelle concernant les appareils à vapeur n'exige qu'un rapport égal à 20 entre ces deux surfaces. On voit que cette prescription (applicable aux seules chaudières à tirage naturel) ne tient aucun compte de l'activité de la grille, ni de la position de la surface de chauffe, dont dépend son efficacité. Ainsi, MM. Sulzer construisent le même type de chaudière placé verticalement ; il est évident que les produits de la combustion doivent quitter le faisceau à une température plus élevée que dans la chaudière inclinée. Dans un tube parfaitement vertical, parcouru de bas en haut, il se forme contre les parois un fourreau de gaz plus froids, plus lourds, retardés par le frottement, et n'ayant aucune tendance à se mêler au reste de la masse ; ce fourreau étant, du reste, fort peu conducteur, ce sont bien les gaz les plus chauds qui s'échappent les premiers.

Les indications suivantes complètent la description de la chaudière exposée :

Surface de grille	4 ^{ma} 30
intérieure baignée d'eau, à partir du foyer .	33 00
non baignée.	33 50
Surface de chauffe	77 00
totale de la chaudière	24 00
du réchauffeur.	101 00
Rapport de la surface de chauffe intérieure baignée d'eau, à la surface de la grille	25.3
Rapport de la surface de chauffe de la chaudière à celle de la grille. .	59.
Rapport de la surface non baignée, à la surface de chauffe de la chaudière.	0.43
Rapport de la surface de chauffe du réchauffeur à celle de la chaudière .	1 : 3.2
Volume moyen de l'eau dans la chaudière.	5 ^{mc} 5
Id.	2 4
Surface de chauffe par mètre cube d'eau	14 ^{ma}
Surface de niveau	1 64
Rapport de cette surface à la surface de chauffe de la chaudière	1 : 46.9
Surface d'emplacement.	18 ^{ma}
Surface de chauffe par mètre d'emplacement (y compris le réchauffeur). .	5.6

La pression normale était de 6 kil. La chaudière était munie de deux soupapes, d'un diamètre de 0^m,080; les bras de levier avaient 0^m,075 et 0^m,350; les contre-poids étaient de 48 kil. La section du faisceau tubulaire était de 0^{ma},282, soit la fraction $\frac{1}{4}$ de la surface de la grille.

L'appareil tenait relativement peu de place; la mise en pression était assez prompte. Au point de vue de la fumivoreté, le foyer Ten Brink a depuis longtemps fait ses preuves; sa disposition dans le corps même du générateur est plus satisfaisante et moins coûteuse que l'installation d'un foyer séparé. L'addition d'un réchauffeur est d'autant plus utile que la grille Ten Brink admet toujours un excès d'air.

Le rendement paraissait très élevé. Nous n'avons pas connaissance d'essais exécutés sur le générateur même de l'Exposition; voici les résultats obtenus sur un appareil du même type, mais plus petit, par MM. Autenheimer, directeur de l'école technique de Winterthur, Veith, professeur à Zurich, et Strupler, ingénieur de l'association suisse des propriétaires d'appareils à vapeur.

La chaudière essayée présentait une surface de chauffe de 36 mètres carrés, et une surface de grille de 0^{ma},90; elle fonctionnait sans réchauffeur. Le combustible était de la houille de Saarbruck de première qualité.

	1	2	3	MOYENNES
Durée de l'essai, heures.	3	4	6	
Pression manométrique, atmosphères effectives . . .	5 5	5 6	5 63	5 576
Température de l'eau d'alimentation	12°5	19°9	14°04	13°147
Id.	182 8	180 3	181 1	181 4
Id.	200	200	200	200
Eau vaporisée, kilogrammes.	4,500	4,757	2,592	
Combustible brûlé	154	180	278	
Eau vaporisée par kilogramme de charbon brut. . . .	9 74	97 4	9 324	9 605

Sans nous arrêter au rendement constaté dans des expériences d'une aussi courte durée, nous appellerons l'attention sur la haute température observée pour la vapeur, température qui correspondrait, si cette vapeur était saturée, à une pression de plus de dix atmosphères, c'est-à-dire bien supérieure à celle indiquée par le manomètre. Les expérimentateurs en ont conclu que la vapeur n'était pas saturée, en un mot, qu'elle était *surchauffée*. En retranchant de la température observée celle que donne la formule de Régnauld pour la vapeur saturée à la pression de la chaudière, on obtient une vingtaine de degrés de surchauffe.

L'existence d'une vapeur non saturée, en présence d'un excès de liquide, semble, au premier abord, difficile à admettre. Il faut cependant remarquer que, dans les expériences de Régnauld, la chaudière était exclusivement chauffée par la partie inférieure. Le dégagement des bulles communiquait rapidement à la chambre de vapeur la température du liquide; aussi les thermomètres placés au-dessus et au-dessous du niveau marchaient-ils sensiblement d'accord. Lorsqu'au contraire c'est la vapeur qui reçoit la première un surcroît de chaleur, la transmission sera moins prompte, devant s'opérer par contact, entre fluides mauvais conducteurs. Dans le cas actuel, l'action saturante de l'eau pourra se trouver, pour ainsi dire, en retard du surchauffement produit par les tubes.

Nous regrettons qu'en nous communiquant les résultats cités plus haut, MM. Sulzer n'aient pas mentionné les précautions par lesquelles toute cause d'erreur a dû être évitée, notamment dans la détermination de la température si élevée de la vapeur. Nous ignorons si cette température a été prise dans la chaudière ou sur la conduite. Dans le premier cas, on était d'abord obligé d'écartier l'influence des gaz chauds qui entourent le corps principal; de plus, le rayonnement du faisceau tubulaire pouvait faire indiquer au thermomètre une température trop haute. Il semble plus simple d'installer l'instrument dans le tuyau de prise de vapeur, mais là encore, la grande vitesse des molécules qui viennent le frapper, et dont la force vive détruite se transforme en chaleur, peut donner lieu à des indications inexactes. Dans tous les cas, le thermomètre a dû être mis à l'abri de la pression de la chaudière.

Après avoir établi que la vapeur *doit* être un peu surchauffée, on pourrait vérifier, par exemple, en la condensant, qu'il en est réellement ainsi.

GÉNÉRATEUR A BOUILLEURS ET A FOYER TEN BRINK, DE MM. ESCHER, WYSS ET C^{IE} A ZURICH (SUISSE).

La maison Escher, Wyss et C^{ie}, dont les machines dans la section suisse rivalisaient avec celles de MM. Sulzer, avait exposé un générateur comprenant deux corps cylindriques, reliés d'une part à un faisceau de six bouilleurs horizontaux, et de l'autre à un foyer Ten Brink.

Ce dernier constituait un appareil distinct, formé d'une boîte cylindrique en tôle, traversée perpendiculairement à l'axe par un tube incliné de 48 degrés, dans lequel était disposée la grille. C'est la disposition que MM. Julg frères, constructeurs à Bâle, appliquent à divers types de chaudières chauffées extérieurement ; il suffit d'installer la boîte transversalement sous le générateur, avec lequel on la met en communication par des cuissards.

Dans l'appareil de MM. Escher et Wyss (planche XV), les produits de la combustion, à leur sortie du foyer, sont d'abord admis sous les deux cylindres *A*, placés côte à côte dans la même chambre *C*. Les six bouilleurs sont groupés, en deux étages *B* et *B'*, dans l'espace qui s'étend, derrière l'autel, sous la cloison *K* de la chambre supérieure. D'autres cloisons *k*, reposant sur les bouilleurs du bas, imposent aux gaz deux retours *C'* et *C''*, avant leur passage (par les deux ouvertures *c*, à travers le mur du fond) dans le conduit de départ *C*.

L'eau d'alimentation circule en sens inverse. Amenée par la conduite *E*, à l'arrière du massif, elle traverse les robinets d'admission et de retenue *e*, *e'*, puis un tuyau horizontal qui la distribue aux tubulures *E'*, des trois bouilleurs inférieurs. Elle parcourt d'abord ces derniers, s'élève par les cuissards *b'* dans les autres bouilleurs *B*, et pénètre, à travers les trois cuissards *b*, dans les deux corps cylindriques. Ceux-ci sont reliés au foyer par les deux cuissards *a* ; afin d'éviter la rencontre du courant d'eau bouillante et de vapeur qui s'échappe par les mêmes communications, l'eau d'alimentation est puisée à une assez grande distance sur le fond de chacun des cylindres *A*, au moyen d'un long tube en cuivre *a'*, qui traverse le cuissard et descend à la partie intérieure de la boîte du foyer. Le courant ascendant est guidé vers la surface de niveau par une tubulure verticale.

La circulation de l'eau est donc parfaitement méthodique. Les bouilleurs du bas fonctionnent en réalité comme des réchauffeurs ; ils reçoivent la majeure partie des dépôts calcaires. L'eau arrive très chaude et relativement pure à la partie antérieure des grands cylindres et dans la boîte

du foyer ; son mouvement rapide autour de ce dernier est très favorable à la conservation des tôles. Sans cette circulation, la partie supérieure de l'ouverture du foyer pourrait souffrir du contact des flammes, en raison de la surépaisseur produite par la colerette rabattue, sous laquelle des bulles de vapeur tendraient à séjourner.

Le foyer est muni d'un robinet de purge E^2 , et de deux tampons de visite t . La vidange des bouilleurs s'effectue par le robinet e^2 , placé sur le tuyau distributeur, à l'extrémité opposée à l'alimentation. Les deux étages de bouilleurs sont inclinés de manière à former une rampe continue jusqu'aux cylindres supérieurs. Chaque bouilleur pénètre dans le mur d'arrière et se termine par un fond en fonte, muni d'un tampon autoclave accessible de l'extérieur. Les deux corps cylindriques ont leurs fonds convexes, noyés des deux côtés dans la maçonnerie. Leur visite intérieure s'effectue par le trou d'homme ménagé sur le petit dôme en fonte qui surmonte chacun d'eux. Les deux dômes sont constamment mis en communication par le tuyau d . Celui de gauche porte une tubulure sur laquelle est installée la boîte à soupapes, et à sa suite la valve de prise de vapeur. En marche, la pression aux soupapes est donc un peu inférieure à celle dans les cylindres, et la différence est d'autant plus marquée que la vitesse d'échappement de la vapeur est plus considérable, c'est-à-dire, à dépense égale, que la pression de la chaudière est moins élevée.

On remarquera que les deux corps cylindriques ne sont reliés l'un à l'autre, au-dessous du niveau, que par l'intermédiaire de la boîte du foyer. La surface de chauffe de ces cylindres a la même étendue pour chacun d'eux ; elle n'a pas nécessairement la même efficacité, puisque cette efficacité dépend d'une foule de circonstances (état des tôles, dépôts, fuites, corrosions, état des maçonneries voisines, etc.) qui peuvent varier d'un cylindre à l'autre. Leurs conditions d'alimentation ne sont d'ailleurs pas identiques, l'un étant rattaché à deux bouilleurs, l'autre à quatre. Enfin leur vaporisation relative est influencée par la température des diverses parties de la flamme et les mouvements de la masse gazeuse à l'intérieur des carreaux. Supposons que, par suite d'un chargement non uniforme de la grille, ou de toute autre circonstance, les gaz viennent à se porter principalement vers l'un des cylindres, par exemple, celui de gauche, plus voisin de la prise de vapeur et qui doit déjà déboursier davantage. Sa vaporisation augmentant, le niveau tendra à s'y abaisser au-dessous du niveau dans l'autre cylindre. On aura bientôt, au-dessus des deux cuissards a , des colonnes d'eau d'inégale hauteur et d'inégale densité ; le courant ascendant s'accélérera dans le cuissard le plus chaud et produira un appel, non seulement par les tubes a^1 (dont la longueur et surtout la faible section donnent lieu à une certaine perte de charge), mais aussi par le cuissard voisin, dans lequel un courant descendant pourra s'établir. En définitive, l'une des chaudières se videra dans l'autre.

De là, la nécessité de prolonger les cuissards a par une tubulure s'élevant un peu au-dessus du carreau. Pourvu que l'alimentation soit suffisante, le niveau ne s'abaissera en aucun cas au-dessous de l'orifice supérieur de la tubulure, et les gaz ne se trouveront jamais en contact avec des tôles non baignées d'eau. L'inconvénient de ces tubulures est de reporter toute l'agitation vers la surface ; avec des eaux très sulfatées, des dépôts pourront s'accumuler dans la partie antérieure des cylindres, au-dessus des tôles directement frappées par les flammes.

Sur chaque cylindre est installé un tube de niveau qui se prolonge à l'intérieur par deux longs tuyaux en cuivre allant chercher l'eau et la vapeur bien au delà de la région agitée. Le manomètre est relié à l'un des dômes. Tous ces accessoires sont disposés sur une devanture en fonte, sur laquelle sont attachées : la porte d'injection d'air o , celle de chargement f , la porte d'introduction d'air sous la grille f^1 , munie d'une crémaillère de réglage, enfin la porte F^1 pour la sortie des scories et la vidange du foyer. L'appareil ne portait aucun indicateur à flotteur.

MM. Escher et Wyss construisent également des générateurs du même type, mais plus puissants, dans lesquels trois corps cylindriques sont disposés dans la chambre supérieure. Le foyer Ten Brink reçoit une largeur proportionnée ; il est alors traversé par deux tubes parallèles réalisant la surface de grille nécessaire, sans compromettre la sécurité de l'appareil.

Dans la chaudière de l'Exposition, les parois latérales des deux corps cylindriques et des bouilleurs étaient en acier ; les fonds, les cuissards et le foyer, en tôle de fer.

Voici les principales dimensions :

Corps cylindriques	longueur	5 ^m 400
	diamètre	0 800
	épaisseur des tôles	{ du cylindre 0 006 des fonds 0 014
Bouilleurs	longueur	3 480
	diamètre	0 500
	épaisseur	{ du cylindre 0 006 des fonds 0 010
Cuissards	longueur	{ a 0 350 b 0 ^m 450 et 0 525 b ₁ 0 250
	diamètre	0 204
	épaisseur	0 012
Foyer Ten Brinck	boîte	{ longueur 1 850 diamètre 1 400 épaisseur 0 012
	tube	{ diamètre 0 800 épaisseur 0 013
Surface de la grille		1 ^{me} 12
Surface de chauffe	foyer	3 50
	totale	46 00
Rapport de la surface totale de chauffe à celle de la grille		41
Volume moyen de l'eau	foyer	1 ^{me} 800
	total	7 600
Volume moyen de la vapeur		2 800
Surface de chauffe par mètre cube d'eau		6 ^{me} 00
Surface du niveau normal		4 30
Rapport à la surface totale de chauffe		1 : 10,7
Surface d'emplacement		20 ^{me} 00
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement		2 30
La chaudière était timbrée à 6 kil.		

L'ensemble est assez compacte, et l'emplacement est bien utilisé. Les maçonneries ont reçu partout une grande épaisseur. Des enveloppes d'air ont été formées dans l'intérieur des murs latéraux, sous le carrelage supérieur, et sur les extrémités des corps cylindriques et de la boîte du foyer. L'appareil se trouve masqué de toutes parts, et la préoccupation de réduire les pertes de chaleur a

fait un peu sacrifier les facilités d'entretien. C'est ainsi que les fonds d'arrière des cylindres ne sont nullement accessibles. A l'avant, on peut encore, en déboulonnant la devanture, visiter les joints d'attache des tubes de niveau ; mais les corrosions qui se formeraient sur la partie inférieure des fonds pourraient rester longtemps inaperçues ; or, elles sont d'autant plus à craindre, dans cette région, que le remplissage en maçonnerie a pour effet de retenir contre la tôle l'humidité provenant du massif ou d'une fuite à la rivure.

La forme des carreaux, notamment celle de la chambre supérieure, favorise le renvoi de la chaleur vers les parois métalliques ; elle est moins avantageuse au point de vue des nettoyages. Il est vrai que la cloison *K*, posée sur des plaques soutenues par des fers à *T*, est facile à enlever et à remplacer ; ce mode de construction assure en même temps son étanchéité. Des ouvreaux *O*, *O'*, donnent accès au-dessus du foyer et dans la chambre des bouilleurs ; un troisième est placé sur le conduit de départ *C*³. Avant de descendre dans ce dernier, le courant gazeux rencontre une rampe *h*, qui le relève vers les bouilleurs.

Les fondations consistent en une couche de maçonnerie, renforcée par des massifs transversaux, sous les supports *I* et *L* des bouilleurs et du foyer. Les parois en contact avec les scories brûlantes sont, comme celles léchées par les flammes, en briques réfractaires.

Par la division en deux corps de la partie du générateur où s'opère la vaporisation, ainsi que par l'emploi de l'acier, MM. Escher et Wyss ont voulu réaliser un appareil aussi puissant mais plus léger qu'une chaudière à bouilleurs ordinaire, moins encombrant, plus divisible, et, par suite, d'un transport et d'une installation plus faciles. Pour offrir, à longueur égale, la même étendue de surface de chauffe, un cylindre unique devrait avoir un diamètre double ; comme l'épaisseur des tôles croît avec le diamètre, ce cylindre pèserait, et par conséquent coûterait à peu près deux fois autant que l'ensemble des deux cylindres de diamètre moitié moindre. La possibilité d'employer des tôles plus minces est, du reste, un avantage au point de vue de l'entretien.

Par contre, avec les deux cylindres, la capacité se trouve réduite de moitié. Le volume de l'eau, était encore considérable dans le générateur de MM. Escher et Wyss, le niveau étant maintenu constamment élevé, mais l'espace réservé à la vapeur n'en devenait que plus restreint.

La surface de chauffe est notablement accrue par l'addition du foyer Ten Brink et des six bouilleurs ; on remarquera cependant que l'efficacité de cette surface dépend de l'état d'agitation de l'eau en contact. Or, la circulation, très vive dans le foyer, moins rapide dans les deux grands cylindres, n'a guère dans les bouilleurs que la vitesse due à l'alimentation ; les diverses parties du liquide, se trouvant d'autant moins chauffées qu'elles sont placées plus bas, n'auront aucune tendance à s'élever vers les cylindres. La température de l'eau étant très différente dans ces derniers et dans les bouilleurs inférieurs, nous avons pu dire que ceux-ci fonctionnaient comme des réchauffeurs.

Nous avons déjà apprécié le système Ten Brink à propos de la chaudière de MM. Sulzer ; il est certain que la fumivoreité est assurée par le brassage des gaz et leur retour vers l'avant, où s'opère l'injection d'air frais. L'économie du combustible n'est pas une conséquence nécessaire de la fumivoreité, puisque celle-ci est obtenue par l'admission d'un excès d'air, et que la perte, par suite des calories que cet air emporte à la cheminée, peut compenser ou même dépasser le gain résultant d'une combustion plus parfaite.

On peut dire cependant que le foyer Ten Brink tend à réduire les pertes par conductibilité et qu'il ajoute au générateur une portion de surface de chauffe très efficace ; bien conduit et chargé d'une manière presque continue, il pourra réaliser une économie de combustible, sinon aussi élevée que celle obtenue dans les essais, du moins suffisante pour payer et au delà les frais de son installation.

C'est surtout lorsque la masse d'eau ou, comme on dit, le *volant de chaleur* n'est pas très grand dans une chaudière qu'il importe, pour la régularité de l'allure, de conserver une activité à peu près constante sur la grille. Dans les foyers ordinaires, et plus encore dans les foyers intérieurs, des charges trop fréquentes ont le désavantage de multiplier les rentrées brusques d'air froid, si préjudiciables aux tôles du coup de feu. Le foyer Ten Brink admet, sans inconvenient, le mode de chargement plus ou moins continu qui convient à la nature du combustible. Son application aux chaudières du groupe suisse n'a pas été étrangère au fonctionnement si régulier de ce groupe, dans lequel la surface de chauffe par mètre cube d'eau (notamment pour le générateur tubulaire de MM. Sulzer) était pourtant considérable.

GÉNÉRATEURS A TUBES BOUILLEURS DE M. MAC NICOL, DE MM. DE NAEYER ET C^{IE} ET DE MM. BARBE, PÉTRY ET C^{IE} (GROUPE BELGE).

Les générateurs du groupe belge étaient tous trois à foyer extérieur, avec un faisceau de tubes pleins d'eau, disposé longitudinalement au-dessus de la grille.

Le principe de la division de l'eau en petites masses séparément chauffées (d'où résultent une surface de chauffe étendue, une circulation rapide et, par suite, une vaporisation très vive), se trouve appliqué avec toute sa rigueur dans l'appareil de M. Naeyer, exclusivement formé de tubes raccordés deux à deux par de simples boîtes; le cylindre qui le surmonte n'est qu'un réservoir de vapeur. Dans le générateur Mac Nicol, le faisceau aboutit à deux récipients verticaux; de plus, un réservoir en partie rempli d'eau est disposé latéralement. Enfin, dans la chaudière de MM. Barbe et

Pétry, la division de la masse liquide est encore moins complète ; au-dessus des tubes, qui viennent déboucher dans de grandes caisses, sont installés deux corps cylindriques offrant à l'eau une grande capacité. Ce dernier appareil est, en quelque sorte, aux deux autres, ce que le générateur semi-tubulaire est aux générateurs tubulaires proprement dits.

Nous décrirons d'abord la chaudière Mac Nicol, qui était contiguë au groupe suisse.

Générateur de M. John Mac Nicol, à Seraing (Belgique).

M. J. Mac Nicol avait exposé une chaudière du système Sinclair, qu'il avait fait construire dans les ateliers de la Société John Cockerill, à Seraing.

L'appareil est figuré sur la planche XVI. Les deux récipients A , A_1 , en forme de parallélépipèdes verticaux, très aplatis, sont reliés par un double faisceau de tubes b , de 3^m,625 de longueur ; ces tubes sont disposés en quinconce et légèrement inclinés, ceux des quatre rangs du haut vers l'arrière, ceux des trois rangs du bas en sens inverse. Comme ils doivent tous s'attacher perpendiculairement sur les parois des caisses à eau, celles-ci sont infléchies, suivant un angle très obtus, dans l'intervalle des deux groupes.

Chacune des caisses communique par une tubulure latérale avec un cylindre B , placé longitudinalement, et par sa tubulure supérieure avec un autre réservoir D , de plus grand diamètre. Le cylindre B , dans lequel le niveau s'établit, a pour rôle de rendre plus constante la hauteur de l'eau, en augmentant l'étendue de sa surface libre ; sur le fond antérieur, sont attachés un tube de verre et un manomètre ; en arrière, est installé un indicateur magnétique. Le réservoir de vapeur D , porte les soupapes, la valve de prise de vapeur et un tampon de visite.

D'autres tampons autoclaves plus petits a , sont disposés sur la plaque extérieure de chacune des caisses à eau, au droit de chaque tube ; ces tampons, de forme conique, sont serrés sans interposition de garniture ni d'enduit. Pour consolider les caisses, des entretoises a_1 sont vissées à travers les deux grandes plaques, et rivées à froid aux deux bouts.

L'appareil est entièrement enfermé dans une chambre en maçonnerie ; le mur de front est seul traversé par les deux cylindres et la caisse antérieure. Celle-ci repose sur un encadrement en fonte P , auquel est attachée la porte de chargement ; l'autre caisse s'appuie, par l'intermédiaire du sommier h_1 , sur un massif en briques.

La grille, d'une longueur de 1^m,40, occupe toute la largeur du faisceau ; elle est horizontale, à deux rangs de barreaux. Sur la planche on a représenté une grille ordinaire ; M. Mac Nicol emploie souvent des barreaux dentés. Un remplissage en maçonnerie h diminue le rayonnement de la devanture.

Les produits de la combustion rencontrent dans la chambre C une série de cloisons K , k , k_1 , K' , qui leur imposent un parcours sinuieux et ne les laissent pas atteindre le réservoir de vapeur. Ils passent de chaque côté de la tubulure supérieure du récipient d'arrière, et descendant, en C' , jusqu'au carneau de départ.

L'eau d'alimentation, traversant le clapet de retenue e , est admise à la partie inférieure du réservoir B (vers le milieu de sa longueur), et s'y élève jusqu'à l'axe, de manière à remplir tous les tubes. Le réservoir n'est pas entièrement noyé dans la maçonnerie ; une portion de sa surface

latérale est en contact avec les gaz chauds. Entraînée dans la circulation générale, l'eau arrive déjà chaude dans les tubes du bas, directement frappés par les flammes.

Les dispositions du système paraissent assez rationnelles. Chacun des tubes vient déverser la vapeur produite sur son parcours dans la caisse vers laquelle il s'élève. Les bulles, en vertu de leur légèreté relative, montent alors vers la surface libre, tandis que l'eau sortant d'un groupe est aussitôt appelée à l'extrémité inférieure de l'autre. Ainsi, la même masse circule constamment dans les tubes, les pertes dues à la vaporisation étant réparées à mesure par l'eau qui descend du réservoir latéral.

En pratique, la séparation de la vapeur ne s'effectuera pas aussi simplement. La section horizontale des caisses n'atteint pas le double de la section totale des tubes du groupe inférieur. La vitesse du courant (de plusieurs mètres dans ces tubes) sera donc encore assez grande, dans les caisses, pour déterminer l'entraînement d'une partie des bulles. A l'arrière, notamment, celles qui s'élèvent dans le voisinage de la plaque tubulaire, au lieu de poursuivre leur mouvement vers la surface, seront appelées dans les tubes du haut. L'inconvénient de ce surcroît de parcours est d'augmenter un peu le primage.

Pour bien montrer le fonctionnement du système, M. Mac Nicol avait exposé un petit générateur en verre. Nous avons déjà fait remarquer que l'examen d'un modèle de ce genre ne peut donner qu'une idée imparfaite de ce qui doit se passer dans un appareil industriel, les divers éléments à considérer ne variant pas tous suivant la même loi. Dans le cas actuel, par exemple, la force ascensionnelle qui tend à séparer les bulles du courant, est d'autant moins grande, toutes choses égales d'ailleurs, que la pression est plus élevée. En effet, la mesure de cette force s'obtient en retranchant le poids des bulles du poids du liquide qu'elles déplacent. Or, le poids de vapeur produite, pour une même quantité de charbon brûlé, est à peu près indépendant de la pression; au contraire, le poids de l'eau déplacée est proportionnel au volume des bulles, c'est-à-dire inversement proportionnel à la pression.

Pour diminuer l'entraînement d'eau, le cylindre *D* a reçu une grande capacité. Deux cloisons en tôle perforée tamisent la vapeur de chaque côté du tuyau de prise. La tubulure de la caisse d'arrière, ainsi que le réservoir *B*, offrent aux gaz (déjà très refroidis, il est vrai) une petite étendue de paroi non mouillée. La surface de surchauffe augmenterait rapidement à mesure que le niveau viendrait à s'abaisser, mais cette circonstance pourrait présenter des dangers pour les tubes, surtout si quelque dégradation à la cloison maçonnée *K*, permettait aux flammes de s'élever immédiatement jusqu'au groupe supérieur.

Des ouveaux *o*, ménagés dans les maçonneries latérales, permettent de nettoyer le faisceau extérieurement. Le montage et la visite intérieure des tubes s'effectuent en démontant les tampons *a*. On doit posséder quelques tampons supplémentaires, afin de pouvoir, en cas de rupture d'un tube, boucher provisoirement les ouvertures sur les plaques des caisses.

La circulation très active empêchera généralement les dépôts de se former dans le faisceau; on le gratte, au besoin, à l'aide d'une raclette en acier. Les impuretés s'accumuleront principalement à la partie inférieure de la caisse d'arrière, d'où le robinet de vidange *E'* permettra de les extraire périodiquement. Cette région, qui échappe à la circulation générale de l'eau, est protégée à l'extérieur par un revêtement en briques réfractaires. Il serait bon de placer un tampon de visite sur le réservoir latéral.

Voici les dimensions du générateur Sinclair installé à l'Exposition :

Caisse à eau	longueur	0 ^m ,200
	largeur	1 ,378
	hauteur { caisse d'avant	2 ,310
Tubes bouilleurs . .	caisse d'arrière	2 ,168
	nombre	38 ,
Réservoir d'eau . .	diamètre int	0 ,119
	longueur	3 ,625
Réservoir de vapeur	longueur	4 ,800
	diamètre	0 ,550
Épaisseur des tôles	longueur	4 ,800
	diamètre	0 ,750
Caisse à eau	plaques tubulaires	0 ,017
	parois latérales	0 ,013
	entretoises	0 ,032
Tubes	Tubes	0 ,004
	Réservoir d'eau . .	0 ,007
Réservoir de vapeur	fond	0 ,010
	cylindre	0 ,008
	fond	0 ,011

Les tôles employées étaient du N° 4 de Seraing. Les tubes soudés (en tôle de Park Head Forge, première qualité) provenaient de la *Caledonian Tube Company*; ils étaient emmâchés à l'outil Dudgeon, et essayés avant la pose, à une pression de 60 kil. par centimètre carré.

La surépaisseur produite par la rencontre des tubes et des plaques n'est pas exposée ici au contact des gaz, comme cela a lieu dans les chaudières tubulaires. Aucune partie plane ne reçoit le premier choc des flammes; quand aux tubes, la circulation rapide de l'eau tend à diminuer pour eux les chances de dislocation ou de brûlure. L'agitation du liquide favorise aussi la transmission de la chaleur, et les gaz, parfaitement divisés sur leur parcours, s'échappent à une température assez basse; elle n'atteignait pas 200° à la sortie du générateur de l'Exposition. D'autre part, la présence des deux caisses à eau réduit beaucoup les pertes par rayonnement.

Comme dans tous les systèmes à faible volume d'eau, la conduite du feu et l'alimentation doivent être l'objet d'une constante attention de la part du chauffeur. Il importe de ne laisser le niveau ni descendre au-dessous des tubes, ni s'élever au point de fermer toute issue à la vapeur dans le réservoir latéral; la brusque dilatation de cette vapeur, à la suite d'un abaissement de la pression, donnerait lieu à des projections d'eau dans le cylindre supérieur.

Le brevet N° 1 du système Sinclair n'a guère été appliqué qu'en Écosse; depuis 1874, M. Mac Nicol a installé en Angleterre, en Belgique et dans la Prusse-Rhénane, divers générateurs conformes aux brevets N° 2 et 3. Leurs propriétaires s'en déclarent généralement très satisfaits.

Entre autres expériences, nous citerons celles exécutées, en février 1877, par M. E. Fletcher, ingénieur en chef de l'Association de Manchester pour les appareils à vapeur, sur une chaudière Sinclair (brevet N° 3) installée à la papeterie *Craig and sons*, à Newbattle (Écosse). La quantité d'eau vaporisée par kilogramme de charbon a été, en moyenne, de 9 kil. Le combustible provenait principalement du Lothian (Écosse); les meilleurs résultats ont été obtenus avec le *Powell-Duffryn*,

houille anthraciteuse du pays de Galles, à 3 ou 4 0/0 de cendres. L'eau était introduite à une température d'environ 30°.

On voit qu'une alimentation avec de l'eau froide, à 10° par exemple, eût exigé, pour la vaporisation des 9 kilogrammes un supplément de 9×20 calories. En évaluant à $\frac{75}{100}$ le rapport entre la chaleur absorbée par l'eau et celle dégagée dans le foyer (expériences de M. Scheurer-Kestner), et en attribuant à la houille consommée un pouvoir calorifique égal à 8,500 calories, le rendement serait :

$$\frac{9}{1 + \frac{9 \times 20}{8500} \times \frac{100}{75}} = 8,75.$$

La température des gaz derrière le registre était de 204°. La chaudière fonctionnait à une pression de 3 atm. 1/2. La proportion d'eau entraînée n'a pas été déterminée.

Dans ces essais, le générateur Sinclair était mis en parallèle avec une chaudière Lancashire; sous tous les rapports, la comparaison a été, de beaucoup, à l'avantage du premier, comme il arrive toujours, du reste, lorsqu'on fait marcher simultanément un appareil neuf et un autre déjà vieux et généralement mal entretenu.

Générateur de MM. De Naeyer et C^{ie}, à Willebroeck (Belgique).

Le générateur de MM. de Naeyer et C^{ie} (planche XVII, fig. 1, 2 et 3) se compose d'un faisceau de tubes parallèles, disposés en quinconce, et inclinés d'une dizaine de degrés vers l'arrière. À leurs extrémités, ces tubes sont réunis deux par deux, horizontalement, au moyen de boîtes en fonte rectangulaires. Chacune de ces boîtes est mise en communication avec celle qui la surmonte : ainsi la colonne torse formée par leur superposition constitue, pour les tubes correspondants, une sorte de récipient commun, analogue aux caisses du générateur Mac Nicol.

Le nombre de ces éléments doubles, verticaux, varie avec l'importance de l'appareil. Celui de l'Exposition en comprenait six, formés chacun de douze assises de deux tubes, soit en tout 144 tubes, de près de trois mètres de longueur.

La figure 3 donne le détail du raccordement. Les deux têtes de tubes sont emmanchées à joint conique dans la boîte *a'*, et fixées par des goupilles taraudées. En face chaque tube, une boîte de communication *B* est attachée par l'intermédiaire d'une bague en fer *b*, qui s'assemble aux deux bouts également à joint conique. Par suite de la position alternée des tubes, les boîtes *B* sont inclinées en sens inverse. Sur leur face externe, de petits godets, venus de fonte dans l'axe des tubulures, reçoivent les extrémités d'un étrier *b'*, serré par un boulon qui se visse dans la boîte de raccord *a'*.

A l'avant, le faisceau repose sur l'entablement de la devanture du foyer. A l'arrière, le plan formé par les boîtes de raccord vient s'appuyer sur un conduit transversal en fonte *L*, avec lequel est reliée, à l'aide d'une boîte de communication, la partie inférieure de chacun des six éléments verticaux. A l'une des extrémités de ce conduit s'opère l'introduction de l'eau (valve *e*), à l'autre la vidange.

La partie antérieure des éléments communique de la même manière avec un collecteur supérieur *L'*, rattaché, par une tubulure centrale, avec le réservoir de vapeur *D*. Ce dernier, d'une capacité de près de trois mètres cubes, est encore surmonté d'un dôme portant la prise

de vapeur. Pour empêcher le courant qui arrive du collecteur de se porter immédiatement vers le dôme, la communication se prolonge à l'intérieur par un tuyau recourbé *d*. L'eau entraînée ou condensée, qui se rassemble à l'arrière du réservoir incliné, retourne, par les deux tuyaux *J*, dans le collecteur d'alimentation *L*.

Derrière le dôme sont installées les deux soupapes; le manomètre et deux tubes de niveau sont attachés sur une bouteille reliée au collecteur *L'*, et disposée sur l'un des côtés de la devanture. De l'autre côté se trouvait une bouteille analogue portant un indicateur à flotteur, avec siflet d'alarme.

La grille, légèrement inclinée vers l'arrière, a une longueur de 4^m,85, et une largeur de 1^m,87. La plaque de devanture est munie de deux portes de chargement.

Les produits de la combustion s'élèvent, en contournant les cloisons *K*, dans la chambre *C* formée par les murs latéraux et les deux plans transversaux des boîtes rectangulaires. Ils s'échappent, à la partie supérieure, par un carreau horizontal au-dessus du compartiment *C'*, et descendent par le conduit *C*², jusqu'au registre. Des voûtes jetées sur des fers à *T* séparent le faisceau du réservoir de vapeur, et supportent le revêtement en briques de ce dernier.

On voit que les boîtes de communication, et leurs joints démontables, sont à l'abri du contact du gaz. Ces joints sont facilement accessibles: ceux d'arrière dans le compartiment *C'*, et ceux d'avant directement de l'extérieur, en ouvrant les portes *P*, qui ont toute la hauteur et toute la largeur du faisceau.

Dimensions des diverses parties de l'appareil :

Tubes bouilleurs en fer étiré.	longueur	2 ^m ,940
	diamètre intérieur	0,410
	épaisseur	0,005
Boîtes en fonte.	hauteur	0,150
	épaisseur minima	0,015
	longueur	3,500
Réservoir . . .	diamètre	1,000
	épaisseur { cylindre	0,012
	fond	0,015
Dôme	hauteur	0,600
	diamètre	0,700

Pour donner de bons résultats, le générateur de Naeyer doit être conduit avec précaution; si la vaporisation devient trop rapide dans les tubes, elle déterminera un entraînement d'eau d'autant plus sensible que la surface de niveau est très réduite, et que la vapeur ne traverse aucun appareil de séchage.

D'après les constructeurs, la mise en relation de tous les tubes d'un élément, au moyen de boîtes composant un récipient unique, est bien préférable, pour le dégagement de la vapeur à la disposition en serpentin, réalisée, par exemple, dans le système Belleville (voir planche V). Dans ce dernier, en effet, les bulles de vapeur formées à la partie inférieure de l'élément sont obligées de parcourir la double série de tubes qui le composent, avant d'arriver dans le collecteur; ici, au contraire, la vapeur s'élevant de chacun des tubes, monterait directement vers le niveau, à travers les boîtes de communication. Même en supposant que les bulles prennent toujours cette route, on voit qu'elle est encore assez longue pour occasionner un certain primage. Mais est-il bien prouvé que les choses se passent uniquement de cette manière?

Dans un serpentin comme celui de MM. Belleville, la circulation de l'eau est partout ascensionnelle, c'est-à-dire de même sens que celle des bulles; l'eau, s'échauffant à mesure qu'elle s'élève par l'effet de l'alimentation, n'éprouve, en masse, aucune tendance à monter plus vite ni à descendre. En est-il de même lorsque chacun des tubes est relié aux deux bouts avec celui placé au-dessus, et, par suite, avec tous les autres?

Pour fixer les idées, considérons seulement deux tubes superposés et réunis par une ou plusieurs boites. Une molécule d'eau, située, par exemple, au point le plus bas de ce circuit, peut s'élever jusqu'à la surface du niveau en suivant deux chemins différents. Pour qu'elle restât immobile (en supposant l'alimentation suspendue), il faudrait que la densité moyenne du liquide, et par conséquent sa température, fût la même dans les deux parcours. Or, cette condition ne peut être remplie que si les deux tubes sont placés exactement de la même manière par rapport à la grille, ce qui n'est pas, ou si le liquide est en mouvement, ce qui est contradictoire.

Il s'établira donc une circulation continue dans tout le faisceau, un certain nombre de tubes et de boites de communication seront parcourus de bas en haut, d'autres en sens inverse, et la vitesse du courant, beaucoup plus grande dans les boites, dont la section est moindre que celle des tubes, déterminera l'entrainement d'une partie des bulles de vapeur dans une direction bien différente de celle du plus court chemin au niveau. Cette circulation pourra être ralentie par l'effet de l'alimentation, mais non supprimée, la vaporisation plus active des tubes inférieurs assurant toujours une différence de densité.

L'entrainement de l'eau peut dans certains cas, se trouver diminué, par le fait que tous les tubes communiquent, mais pour une autre raison que celle tirée d'un parcours moindre offert à la vapeur. Dans un serpentin, si, par suite d'une combustion trop vive, les bulles deviennent trop nombreuses à la partie inférieure, elles pourront, en se massant, soulever et chasser devant elles la colonne liquide qui les surmonte. Dans le générateur de Naeyer, au lieu d'être entraînée et projetée, l'eau descendra simplement par les tubes supérieurs. Ajoutons que la circulation devenant plus rapide, les tubes du bas seront mieux protégés.

Les dépôts intérieurs s'accumuleront surtout dans les boites d'arrière et le collecteur d'alimentation. La possibilité d'ouvrir chaque tube aux deux bouts est très avantageuse au point de vue des nettoyages. Le démontage et la réfection des joints coniques, sans garniture, s'exécute assez facilement; on peut craindre seulement qu'ils ne soient exposés à quelques fuites, lorsque le serrage est fait sans précaution. Le bon état des boulons et des écrous qui retiennent les étriers b^1 , est important pour la sécurité, bien que ces pièces, d'après les constructeurs, n'aient aucun effort à supporter. Un coincement énergique et la dilatation des bagues, moins rafraîchies que les tubulures des boites, suffiraient à maintenir le joint, sous une pression ne dépassant pas les limites ordinaires de la pratique.

En cas de rupture d'un tube, on remplacera rapidement le rectangle formé par ce tube, ses deux boites de tête, et le tube conjugué.

Le nettoyage extérieur du faisceau s'opère en lançant un jet de vapeur par les interstices laissés entre les boites rectangulaires, dont les arêtes longitudinales sont abattues; ces interstices sont fermés par de petits bouchons en fonte.

Le tableau suivant des essais exécutés sur une chaudière de Naeyer, par M. Vinçotte, directeur de l'Association belge pour les appareils à vapeur, pourra fournir quelques indications sur le fonctionnement du système. Le générateur avait une surface de grille de 3^{me},76 et une

surface de chauffe de 158^{mo}; sa puissance était à peu près la même que celle de l'appareil exposé en 1878.

	26 Juin.	27 Juin	28 Juin	29 Juin	4 Juillet
Dates des essais, 1878.					
Durée id.	11 h.	11 h.	11 h.	11 h.	11 h.
Quantité d'eau introduite.	12.621 ¹	8.508	17.068	19.9.0	21.455
Corrections pour fuites	—	—24	—52	—37	—23
id. pour la variation du niveau	—20	—5	—25	—27	—52
Pression moyenne.	5 ^{atm} ,9	5,7	5,6	5,7	5,8
Température de l'eau d'alimentation	49 ^o ,2	41,6	48,6	45,0	44,2
Charbon brûlé, y compris l'allumage.	1.552 ²	1.100	1.980	2.420	2.420
Cendres	225	152	325	438	355
Cendres pour cent.	14,6	13,7	16,4	18,0	13,3
Charbon brûlé par heure et par décimètre carré de grille.	0 ^{k,575}	0,255	0,480	0,585	0,585
Eau vaporisée par heure et par mètre carré de surface de chauffe.	8,0	5,6	10,4	12,6	13,5
Eau vaporisée par kilog. de charbon brut	8,2	7,6	8,5	8,2	8,8
id. id. id. pur	9,6	8,8	10,4	10,0	10,1

La température de sortie des gaz était un peu supérieure à 200°.

Par une correction analogue à celle indiquée à propos du générateur Mac Nicol, on aurait approximativement la quantité d'eau froide qu'un kilogramme de charbon vaporiserait dans les mêmes conditions.

On voit que le rendement est un peu moins élevé lorsque la grille est moins chargée. En général, plus on poussera le feu, plus la quantité d'eau à introduire sera considérable, non seulement parce que l'appareil n'étant suivi d'aucun réchauffeur, tout excès d'air donne lieu à une perte proportionnée de calories, mais aussi parce que la tendance au primage augmente avec la vaporisation.

Générateur de MM. J. Barbe, J. Pétry et C^e, à Molenbeek-Bruxelles (Belgique).

Ce générateur, représenté à la planche XVIII, comprend deux corps cylindriques *A*, supportés par trois caisses rectangulaires *B*, *B'*, de même largeur que l'intervalle des murs latéraux, et qui communiquent entre elles au moyen de deux faisceaux de tubes.

La caisse intermédiaire divise le fourneau en deux compartiments, *C*, *C'*, à peu près de même longueur; la grille occupe toute l'étenue du premier. Les produits de la combustion s'élèvent d'abord, à travers le premier faisceau, jusqu'aux cylindres, dont ils enveloppent la partie inférieure; ils passent ensuite sur le deuxième faisceau pour descendre vers le conduit de départ.

Le niveau s'élève un peu au-dessus de l'axe des cylindres. On voit qu'une circulation rapide doit s'établir dans tout l'appareil. L'eau froide, amenée par le tuyau *e* jusqu'au fond de la caisse d'arrière, descend par les tubes inférieurs du deuxième faisceau, et rencontre, par conséquent, les gaz les plus refroidis. Pour faciliter l'échange entre les diverses parties de la masse liquide, les cuissards réunissant les caisses extrêmes aux cylindres ont reçu une forme allongée, qui augmente la section de passage.

Les deux chambres de vapeur sont mises en communication par un réservoir cylindrique, portant la prise de vapeur. Les deux soupapes et un indicateur à flotteur sont montés sur une même tubulure. Chacun des cylindres porte un tube de niveau.

Voici les principales dimensions :

Corps cylindriques	{	longueur	6 ^m ,000
		diamètre	1 ,000
Caisses d'avant et d'arrière	{	longueur	2 ,000
		largeur	0 ,380
		hauteur	0 ,800
Caisse intermédiaire	{	longueur	2 ,000
		largeur	0 ,540
		hauteur	1 ,250
Réservoir de vapeur	{	longueur	2 ,000
		diamètre	0 ,800
Tubes	{	longueur { faisceau d'avant	2 ,300
		id. d'arrière	2 ,150
		diamètre	0 ,051
		nombre (chaque faisceau)	156
Epaisseur des tôles	{	corps cylindriques	0 ,011
		plaques tubulaires	0 ,018
	{	caisses { fonds convexes	0 ,015
		parois latérales	0 ,012
		tubes, en fer étiré	0 ,003

Le fond extérieur des caisses extrêmes est fixé par des boulons, avec interposition d'une bande de caoutchouc ; on le démonte pour nettoyer l'intérieur des tubes. Ces larges surfaces privées de toute armature, avaient inspiré quelques inquiétudes au Comité consultatif des machines, qui fit attacher chacun des fonds convexes à la plaque correspondante du caisson intermédiaire, au moyen d'un tirant enfilé dans l'un des tubes.

Nous avons déjà rencontré dans diverses chaudières (Thomas et Laurens, Le Brun, etc.), de grandes pièces boulonnées, mais toujours de forme circulaire. On pourrait penser que cette forme réalisant, à égalité de surface, le périmètre minimum, est moins avantageuse que le contour rectangulaire, qui permet de résister à une même pression totale par un plus grand nombre de boulons. Mais d'abord, ces boulons ne sont plus également chargés, dans la seconde disposition ; de plus, les chances de rupture, par suite d'altérations résultant du serrage même, ou d'une autre cause, augmentent avec le nombre des boulons.

Les plaques tubulaires pourraient être consolidées par quelques tubes fortement attachés, la dilatation des faisceaux ayant lieu, de chaque côté, en sens contraire de la pression de l'eau.

Le caisson intermédiaire est muni d'un tampon autoclave, nécessaire pour les réparations aux tubes et l'enlèvement des dépôts qui s'accumulent à la partie inférieure, où l'eau est relativement moins agitée.

Une série de petits conduits *o*, ménagés dans les parois latérales du foyer, prennent dans le cendrier une certaine quantité d'air froid et l'admettent sur divers points de l'étendue des flammes.

Une injection d'air semblait d'autant moins nécessaire ici, que les grandes dimensions de la grille et son rapprochement du faisceau correspondent à une faible épaisseur de combustible. Cette épaisseur se trouvera encore réduite sur certains points, près de l'autel, par suite de la difficulté de charger uniformément à plus de 2^m,50 de la porte, et de la nécessité de ne pas brûler les tubes. Pendant toute la période d'incandescence, il y aura donc excès d'air dans le foyer, et l'admission latérale n'aura pour effet que d'augmenter le nombre des calories emportées à la cheminée. Au moins faudrait-il disposer, de chaque côté du cendrier, une plaque percée d'ouvertures correspondant aux orifices *o*, et qu'on manœuvrerait de l'extérieur, de manière à fermer ces orifices quelques minutes après le chargement. Même au point de vue de la fumivore, la disposition adoptée ne paraît pas devoir être bien efficace. Les produits de la distillation exigent en effet, pour leur combustion parfaite : 1^o un mélange intime, dans les proportions convenables, avec le gaz comburant; — 2^o une température élevée, *maintenue pendant un certain temps* (1). Or, il suffit de jeter les yeux sur la figure 4 (pl. XVIII) pour reconnaître que les gaz dégagés sur une largeur de 2 mètres, et n'ayant que 20 ou 30 centimètres à parcourir pour atteindre le faisceau, seront rapidement divisés et refroidis par les nombreux tubes, de petit diamètre, et cela bien avant tout mélange possible avec l'air admis latéralement. Avec des houilles un peu fumeuses (et c'est le cas que suppose tout dispositif fumivore) la combustion incomplète des carbures donnera lieu à des dépôts, très difficiles à atteindre dans un faisceau aussi serré; l'efficacité de la surface de chauffe se trouvera diminuée, en même temps que le tirage deviendra plus pénible.

Les considérations qui précèdent, rappelant des principes bien connus et d'une application générale, nous semblent expliquer ici, comment un appareil, bien disposé à d'autres points de vue, n'a peut-être pas donné à l'Exposition tous les résultats qu'on pouvait en attendre.

Il nous reste à parler d'une dernière particularité du générateur de MM. Barbe et Pétry. Sous le caisson d'arrière est installée une soupape *E*₁, maintenue par un levier, et s'ouvrant vers l'extérieur dès que la pression dépasse la limite à laquelle correspond le contrepoids *e*₁. Un tuyau de décharge *E*₂ emporte l'eau et la vapeur dans le conduit de départ. D'après les constructeurs, une dizaine de secondes suffisent à vider complètement la chaudière. ·

Tout d'abord, on voit que cet accessoire n'a pour objet de prévenir que les explosions résultant d'un accroissement graduel de la pression; or, une cause fréquente d'accidents paraît être l'établissement brusque d'une pression très élevée, à la suite, par exemple, de la mise en contact de l'eau avec des parois chauffées au rouge. Il arrive aussi que des générateurs éclatent à la pression de marche, lorsque les diverses causes d'altération des tôles ont suffisamment affaibli leur résistance.

Mais admettons que la tension de la vapeur se soit élevée peu à peu jusqu'au maximum que l'on s'est interdit de dépasser; cette tension peut être encore assez éloignée de celle qui déterminerait l'explosion. Dans cette hypothèse, en quoi une soupape inférieure offre-t-elle plus de garantie que les soupapes ordinaires de sûreté? — Si elle est accessible, rien n'empêche les chauffeurs de la surcharger, comme ils font trop souvent avec les autres. Il importe cependant qu'on puisse la visiter; placée dans la région la plus exposée aux dépôts, elle serait d'un fonctionnement peu sûr.

(1) Dans les récentes expériences de MM. Mallard et Le Chatelier, un mélange d'hydrogène proto-carboné et d'air a exigé plusieurs secondes pour s'enflammer, à des températures variant entre 730° et 790°. Ce fait n'a pas eu avec les mélanges explosifs formés par l'air avec l'hydrogène ou l'oxyde de carbone. Le temps nécessaire pour l'inflammation du carbure est naturellement d'autant moins long que la température est plus élevée. On remarquera que le premier effet d'un chargement de combustible est de refroidir notablement le foyer.

et risquerait de donner lieu à des fuites continues, si elle n'était pas entretenue en parfait état. Sans doute, le retour à la pression normale s'effectue plus rapidement quand c'est l'eau bouillante, et non la vapeur, qui s'échappe ; mais, d'autre part, chercher à vider instantanément une chaudière à grand volume d'eau, en pleine activité, c'est exposer l'appareil et tout le massif à de tels dangers (1), qu'on ne saurait s'y résigner qu'en un cas urgent, si c'était le seul moyen d'échapper à de plus grands désastres.

Supposons, enfin, qu'une explosion soit imminente : alors, loin de la prévenir, l'ouverture d'une soupape quelconque suffira probablement pour l'occasionner. Si en certains points la tension des tôles approche de la limite de leur résistance, le moindre ébranlement peut amener la rupture. Toute réduction brusque de la pression, immédiatement suivie de la formation d'une nouvelle masse de vapeur, et imprimant des secousses à tout le système, est à redouter. Ce n'est que par la prompte extinction du feu, et un abaissement très graduel de la température de la chaudière que le péril pourra être conjuré.

En somme, l'application d'une soupape de vidange instantanée n'a nullement pour effet d'écartier les chances d'accident, et l'on doit craindre qu'en inspirant à l'industriel une trompeuse sécurité, elle ne le dispose à fermer les yeux sur les négligences du chauffeur.

Le tableau suivant résume les proportions du groupe de la section belge.

Générateurs	Barbe et Pétry	De Nayer	Mae Nicol
Surface de grille	4 ^{mq} ,20	3 ^{mq} ,50	1 ^{mq} ,80
Surface de chauffe { tubulaire	124	158	54, 50
Surface de chauffe { totale	142	—	60
Rapport de la surface de chauffe totale à la surface de grille	33,8	45	33,3
Volume moyen de l'eau	10 ^{me} ,200	5 ^{me}	3 ^{me}
— — — de la vapeur	4, 300	3	2, 7
Surface de chauffe par mètre cube d'eau	13 ^{mq} ,80	31 ^{mq} ,6	20 ^{mq}
Surface moyenne de niveau	12	—	2, 80
Rapport à la surface de chauffe	1 : 11,8	—	1 : 21,4
Surface d'emplacement	20 ^{mq}	17 ^{mq} ,50	12 ^{mq}
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	7	9	5
Timbre	5 ^k	8 ^k	7 ^k

En comparant ces appareils, on voit que celui de MM. Barbe et Petry doit fournir de la vapeur plus sèche et fonctionner avec plus de régularité que les deux autres. Par contre, ceux-ci obtiennent un rendement plus élevé et offrent une bien plus grande sécurité.

Le générateur Sinclair-Mac Nicol, bien que comportant des réservoirs assez volumineux, se rapproche des chaudières dites inexplosibles par son faible volume d'eau et sa surface de chauffe presque exclusivement tubulaire. Le dégagement des bulles de vapeur y est moins géné, le niveau plus constant, et la tendance au primage moins marquée que dans le générateur de M. de Nayer.

Enfin ce dernier offre de beaucoup plus grandes facilités d'installation et d'entretien, une mise en pression très prompte, et une vaporisation pouvant s'élever à plus de 10 kilogrammes

(1) En passant de la pression intérieure à celle de l'atmosphère, une partie du liquide se vaporisera aussitôt, et par sa détente développera un travail de plusieurs millions de kilogrammètres.

par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Comme la chaudière Root (1), dont il dérive, il ne comprend que des éléments identiques, composés de pièces d'une construction simple et uniforme, ce qui diminue leur prix de revient.

Un générateur de Næyer coûte moins qu'un générateur du système Sinclair, et surtout du système Belleville. Mais ce dernier comporte une série d'accessoires fort utiles pour régulariser le fonctionnement de l'appareil et réduire la proportion d'eau entraînée. De plus, dans la construction de la chaudière française, on se préoccupe davantage du choix des matériaux.

GÉNÉRATEUR VERTICAL, A TUBES COLLECTEURS, DE M. DULAC, A PARIS

MM. Dulac frères avaient installé, pour le service de l'annexe des pompes, un générateur vertical, à foyer extérieur, muni de tubes Field, et particulièrement étudié en vue de l'enlèvement des dépôts intérieurs. Ils en avaient confié la construction à MM. Imbert frères, de Saint-Chamond (Loire), dont les pièces de chaudronnerie ont été souvent admirées aux expositions.

Depuis 1878, ce système a reçu successivement diverses modifications ; nous avons représenté à la planche XIX (fig. 1 à 4) le dernier type auquel M. L. Dulac s'est arrêté. Le corps cylindrique *A*, de 1^m, 40 de diamètre et 4 mètres environ de hauteur, est fermé à la partie inférieure par un fond plat que traversent 180 tubes Field. Cette plaque est rivetée extérieurement au cylindre, de manière à ne pas tourner le joint du côté des flammes ; elle est armée de six forts tirants *a*, qui la soutiennent par l'intermédiaire de chapes rivées. Le fond supérieur porte un petit dôme en fonte, muni d'un trou d'homme et de divers accessoires. La chaudière repose, vers le bas, à l'aide de six pattes *l*, sur des consoles en fonte *L*, attachées à la feuille de tôle qui enveloppe le foyer. Cette feuille, intérieurement garnie de briques réfractaires, s'appuie sur le support *L'* de la grille. Les produits de la combustion s'élèvent à travers le faisceau jusqu'à l'espace annulaire *c*, réservé entre la chaudière et son enveloppe ; leur départ est ralenti par cinq bandes

(1) Dans la chaudière Root, dont la disposition générale est à très peu près la même que celle du générateur de Næyer, les joints des boîtes de communication s'effectuent par l'interposition d'une forte rondelle de caoutchouc. Le joint conique est plus simple, mais il ne laisse aucun jeu à la dilatation inégale des portions successives du serpentin. Les tubes supérieurs du système Root ne sont pas entièrement recouverts par l'eau ; ils constituent ainsi une surface de surchauffe, comme dans le système Belleville.

métalliques h , enroulées en spirale, avec une pente de 52° , suffisante pour prévenir l'accumulation des cendres. Les cinq carreaux hélicoïdaux, ainsi déterminés, aboutissent à la chambre C , que le conduit C' fait communiquer avec la cheminée.

A l'Exposition, l'enveloppe de la chaudière était formée par un massif circulaire en briques; les cloisons h étaient également en maçonnerie. Cette disposition prêtait assez à la critique. En effet, la surface de chauffe cylindrique, placée verticalement, et partout parallèle au courant gazeux, ne saurait être sérieusement efficace qu'à la double condition d'être parcourue par une nappe de gaz de faible épaisseur, et d'être facile à atteindre et fréquemment nettoyée. Or, ces deux conditions deviennent contradictoires dès qu'il s'agit de carreaux maçonnés.

Dans le générateur actuel, M. Dulac a imaginé de constituer une enveloppe amovible par la juxtaposition de six grands caissons en tôle K , reposant sur le massif extérieur du foyer, et maintenus à l'aide de quelques cercles y . Il suffit de desserrer ces cercles pour mettre la chaudière à jour; on peut ainsi ne donner à l'espace annulaire c que la largeur nécessaire pour le tirage. Les cloisons métalliques en spirale réduisent moins la surface de chauffe que celles en maçonnerie; elles ne sont sujettes à aucune dégradation, et, pendant les arrêts, ne sauraient apporter de l'humidité à la chaudière; on les soutient par de petites cornières attachées aux caissons K . Ces caissons devront être parfaitement jointifs, sous peine de reproduire les inconvénients (fissures, rentrées d'air) reprochés aux murs en briques.

En supprimant l'enveloppe en maçonnerie, on se prive du *volant de chaleur* considérable qu'elle représente. A l'Exposition, après 17 heures d'arrêt, la perte de pression n'atteignait pas généralement un kilogramme; il n'en sera évidemment plus ainsi avec un revêtement en tôle. L'allure du générateur deviendra aussi moins régulière, et l'on est presque étonné que M. Dulac, qui avait réuni sur son premier type tant d'accessoires intéressants (pyromètre, manomètre-enregistreur, régulateur du niveau, etc.) n'ait pas doté son nouvel appareil d'un organe quelconque destiné à régler d'après la pression intérieure l'activité de la combustion.

Un autre désavantage a préoccupé l'inventeur, la déperdition rapide de chaleur à travers une enveloppe métallique. Pour récupérer une partie des calories perdues, il a mis en communication l'intérieur des caissons K avec le cendrier, au moyen d'un conduit annulaire autour du foyer, et d'un certain nombre d'ouvertures o ; des orifices o' ont été ménagés dans la plaque de couronnement qui surmonte les caissons, de sorte qu'en fermant la porte du cendrier, l'air appelé par la combustion est obligé de descendre le long de toutes les parois exposées au gaz, avant d'arriver à la grille. Les filets immédiatement en contact avec ces parois s'échaufferont évidemment, mais la pratique seule peut vérifier si, malgré la faible conductibilité de l'air, l'augmentation de la température moyenne du courant justifiera des dispositions aussi gênantes pour le tirage.

De ce que l'air qui parcourt les caissons resterait assez froid, on pourrait conclure qu'à défaut d'autre avantage il constitue du moins pour l'appareil une excellente chemise isolante; en réalité, comme il est non seulement mauvais conducteur, mais encore *diathermane*, une partie de la chaleur émise par la paroi intérieure le traversera sans l'échauffer, et se propagera au dehors.

Pour terminer ce qui se rapporte à la combustion, nous ferons remarquer que le support L' de la grille n'est pas de forme circulaire; il figure un quadrilatère curviligne, dont les deux côtés parallèles, qui coupe en leur milieu l'axe de la porte, sont des arcs de même rayon. Cet artifice permet d'avoir dans la région la plus exposée, un grand nombre de barreaux du même type, et moins de pièces de rechange en magasin.

Dans l'étude des chaudières verticales, si avantageuses au point de vue de l'emplacement, ce

qui préoccupe surtout les ingénieurs, est de ne pas laisser les gaz s'échapper trop vite, et de multiplier leurs points de contact avec des parois mouillées. Cette difficulté, qui conduit souvent à des pièces de forge très compliquées, a été résolue d'une manière ingénieuse par M. Dulac, sans toucher à la forme simple du corps cylindrique, ni changer les proportions convenables des volumes d'eau et de vapeur. Pour cela, il a imaginé de maintenir l'eau suspendue, contre les parois, au moyen de trois augets circulaires A^1 , superposés de manière que la partie inférieure de chacun d'eux descende un peu plus bas que le niveau de la masse d'eau immédiatement inférieure. Ces augets sont en fonte ; ils reposent sur des cornières circulaires, avec interposition d'un anneau en caoutchouc pour assurer l'étanchéité du joint. La rivure des cornières doit être aussi parfaitement étanche. Avant la pose du fond supérieur, on attache la cornière la plus basse, et l'on met en place le premier auget, puis on rivette la seconde cornière, et ainsi de suite.

L'évasement prononcé des augets permet de tenir suspendue une grande quantité d'eau, ce qui, pour un volume donné, correspond à un abaissement du niveau de la masse principale. C'est là un avantage d'autant plus appréciable ici, que l'addition des tubes Field augmente beaucoup la distance que les bulles de vapeur doivent parcourir.

L'eau d'alimentation arrive par le tuyau E dans l'auget supérieur, et s'y élève jusqu'à un orifice de déversement muni d'un tube e qui descend dans l'auget placé au-dessous. Le même mode de communication relie le second auget avec le suivant, et ce dernier avec le fond de la chaudière. Les divers tuyaux E , e , plongent un peu plus bas que le niveau normal dans le bief qu'ils alimentent. Ainsi, dans chaque auget, le départ se fait par les couches les plus chaudes, et, d'un récipient à l'autre, l'eau rencontre des parois de plus en plus chauffées, jusqu'au faisceau tubulaire où elle se vaporise.

La surface de chauffe directe réalisée par ce faisceau, composant plus des trois quarts de la surface totale, les gaz arrivent déjà très refroidis dans les carreaux en hélice. D'autre part, on a vu que la surface du corps cylindrique n'était pas placée dans les meilleures conditions pour absorber la chaleur (à tel point que M. Dulac avait fait suivre son générateur de l'Exposition de deux réchauffeurs remarquablement efficaces). On voit que l'eau s'échaufferait très peu dans son passage à travers les augets, s'ils n'étaient plongés dans une atmosphère de vapeur, et si les niveaux supérieurs ne devenaient ainsi le siège d'une condensation continue.

Le diamètre des orifices de déversement doit être assez grand pour que leur débit ne devienne jamais inférieur à celui de la conduite E , quelle que soit l'activité de l'alimentation ; sinon, l'eau monterait peu à peu jusqu'au bord de l'auget, se répandrait en nappe à travers la vapeur, et produirait une brusque dépression, justement lorsque la demande serait plus considérable ; de violentes secousses ébranleraient dans ce cas tout l'appareil.

On peut vider les augets sans les déplacer, au moyen des branchements e^1 d'un long tube E^1 , qui traverse le dôme supérieur, et redescend extérieurement jusqu'à un robinet placé en contrebas de l'extrémité opposée. La vidange s'effectue, soit sous pression, soit en amorçant le tube comme un siphon. Sous la plaque tubulaire, vient déboucher un autre tuyau d'évacuation E^2 , directement exposé aux flammes ; il serait dangereux de laisser des dépôts s'y accumuler et, avec des eaux très impures, il sera bon d'ouvrir de temps à autre le robinet auquel il aboutit.

Nous ne reviendrons pas sur la description des tubes Field, nous rappellerons seulement ce que nous avons dit de la possibilité de leur obstruction, à propos du générateur de MM. Séraphin. Les divers dépôts que détermine dans l'eau l'élévation de la température résultent : soit d'une décomposition chimique des sels dissous, soit de la diminution de leur solubilité, soit de la con-

centration produite par l'évaporation. Ces derniers se forment naturellement là où le liquide est le plus chaud; le contraire a lieu pour la plus grande partie du carbonate de chaux, abandonnée dès que l'acide carbonique en excès se dégage. La précipitation du carbonate et celle du sulfate de chaux se continuent dans toutes les régions de la chaudière, pour ne s'achever que sur les points où la vapeur prend naissance; la solubilité décroissante de ces sels est encore très sensible en effet, aux températures qui correspondent aux pressions ordinaires de marche.

L'eau abandonnant des sels en tous ses points, et à toute température, nous avons distingué les précipités qui se forment au sein de la masse liquide, à mesure qu'elle s'échauffe, de ceux qui ne s'en séparent qu'au moment où elle se vaporise, c'est-à-dire, notamment, au contact des tubes Field. Les premiers sont tenus en suspension par une circulation très active, et ne sauraient s'approcher des parois directement chauffées sans l'interposition d'une petite couche d'eau dont la vaporisation les rejette dans le courant; ce n'est que pendant les arrêts qu'ils se déposeront dans les tubes. Mais on conçoit qu'il puisse en être autrement des particules salines, placées, à l'état naissant et sous pression, en contact immédiat avec des surfaces métalliques très chaudes, ou de dépôts antérieurs fortement calcinés.

En fait, il n'est pas rare de rencontrer des tubes Field complètement bouchés par les incrustations, et, lorsqu'on fait la section de l'un de ces tubes, on arrive quelquefois à distinguer des couches superposées, de consistance différente, qui correspondent aux périodes alternatives d'activité et de repos. Nous n'avons pas besoin d'insister sur les inconvénients qui résultent de l'obstruction des tubes au point de vue du rendement et surtout de la sécurité. Il suffirait, pour l'empêcher, de provoquer d'une manière quelconque, avant l'arrivée de l'eau dans les tubes, la précipitation de la totalité des sels dissous; puis, tandis que ces précipités seraient entraînés par la circulation, d'en déterminer le dépôt sur des points où leur présence n'offrirait aucun danger.

Nous avons déjà signalé une application de cette méthode dans le système de MM. Belléville, où la séparation du carbonate et du sulfate de chaux est obtenue en portant rapidement l'eau à une haute température dès son arrivée dans l'appareil, par la multiplication de ses points de contact avec la vapeur. (Voir pl. VI.) Mais, comme nous l'avons dit, la précipitation des sels de chaux par la chaleur ne saurait être complète aux températures habituelles de la vapeur dans les chaudières (1).

M. Dulac, qui s'est beaucoup occupé de ces questions, arrive au résultat cherché par un traitement chimique, procédé applicable à toute pression, mais assez délicat en ce qu'il exige une analyse préalable des eaux d'alimentation et un dosage exact des réactifs nécessaires dans chaque cas. Il importe, en effet, d'introduire les quantités suffisantes, mais sans excès, sous peine de donner à l'eau une viscosité qui favoriserait le primage et l'entrainement de particules salines dans les conduites et jusqu'aux machines. Les mêmes raisons interdisent de laisser les matières chimiquement précipitées s'accumuler indéfiniment dans le liquide en circulation.

Pour opérer à mesure leur séparation, il suffit de produire un ralentissement de la vitesse au-dessus de réservoirs convenablement disposés, où les parcelles solides, livrées à l'action de la pesanteur, viendront se déposer. C'est le principe des *sediment's collectors* anglais, que M. Dulac a appliqué d'une manière plus méthodique et autrement efficace. Ainsi le long auget du générateur

(1) D'après les anciennes expériences de M. Cousté, directeur des manufactures de l'État, les sels de chaux seraient parfaitement insolubles à une température de 150° correspondant à une pression d'environ 5 kilogrammes; mais il résultera de recherches plus récentes, que la solubilité du sulfate est loin d'être nulle à des températures bien supérieures.

Galloway (pl. XI) ne saurait recueillir que les matières en suspension près de la surface de l'eau ; s'ils deviennent adhérents, leur extraction est impossible ; s'ils restent à l'état de boues, le moindre soubresaut dans la masse, lorsque, par exemple, une dépression brusque provoque un mouvement général d'ébullition, suffira pour les rejeter de nouveau dans le liquide. M. Dulac, dans les applications de son système aux chaudières horizontales, a soin de faire descendre ses collecteurs jusqu'à une petite distance des parois chauffées, de manière à déterminer contre ces parois une circulation rapide, qui empêche le stationnement des précipités, non adhérents du reste, et obtenus par traitement chimique. De plus, l'ouverture supérieure des collecteurs, placée un peu au-dessous du niveau minimum, est munie de petits clapets, pendus vers l'intérieur, et qui, lorsque le liquide emprisonné tend à s'échapper, se soulèvent avec lui et ferment toute sortie aux dépôts. Pour faciliter leur introduction à travers le trou d'homme, ces collecteurs, sont formés par la réunion d'un certain nombre de boîtes, en tôle mince, dont la forme doit épouser celle de la surface de chauffage au-dessus de laquelle elles sont suspendues, sans qu'il y ait contact en aucun point, toute surépaisseur pouvant déterminer un coup de feu.

Dans les générateurs à tubes Field, les collecteurs sont constitués par de longs cylindres en tôle B (fig. 4), emmanchés sur le prolongement du tube intérieur b^1 , qui s'élève jusqu'à une trentaine de centimètres du niveau normal. Le mélange de vapeur et d'eau venant des tubes b continue son ascension dans les intervalles qui séparent les manchons. Au-dessus des collecteurs, l'eau éprouve un ralentissement qui permet aux particules en suspension d'obéir à l'action de la gravité : celles qui viendront tomber dans le liquide immobilisé par le manchon se trouveront définitivement soustraites à la circulation.

Le rapprochement des tubes Field, et, par suite, le faible diamètre des collecteurs, réduisent beaucoup la largeur de la région relativement calme où la décantation doit s'opérer ; le courant descendant exercera un appel énergique sur toutes les particules voisines de l'orifice du tube b^1 , mais comme celles qui céderont à cet appel seront aussitôt ramenées, par la rapidité même de la circulation, au-dessus des collecteurs, la séparation des dépôts finira toujours par s'effectuer. Pour empêcher leur sortie, chaque manchon est fermé par une trémie laissant une ouverture annulaire autour du tube intérieur ; sur ce dernier est enfilé un obturateur b^2 , maintenu par son propre poids à une petite distance de la trémie, mais facilement soulevé, en raison de la conicité de sa surface, par tout mouvement du liquide vers l'extérieur. Ces divers organes sont en tôle très légère, et peu coûteux.

L'installation des collecteurs exige qu'une distance de plus d'un mètre sépare la plaque tubulaire du niveau moyen. Dans les chaudières où cette hauteur d'eau est irréalisable, M. Dulac donne aux manchons un diamètre assez faible pour qu'emboités dans l'intérieur des tubes Field ils laissent encore un intervalle suffisant pour la circulation ; on les attache à l'extrémité inférieure du tube interne, la capacité des collecteurs se trouve considérablement réduite, ce qui oblige de les vider plus souvent. Du reste, l'enlèvement et le nettoyage de ces tubes, remplis de matières boueuses non adhérentes, ne présente aucune difficulté.

En résumé, le système Dulac comporte trois séries d'opérations : analyse de l'eau alimentaire ; décomposition des sels et formation de précipités non adhérents ; enfin décantation méthodique de ces précipités. L'addition des réactifs se fait dans la bâche où puise la pompe ou l'injecteur. Mais tandis que dans la méthode d'épuration préalable, la précipitation à froid nécessite un long repos, et par suite de très vastes réservoirs, ici, l'introduction dans la chaudière est immédiate, et c'est la chaleur même de l'appareil qui opère en quelque sorte la décantation. Par son action propre, et

par la circulation qu'elle détermine, elle active les réactions chimiques, prévient l'adhérence des précipités et effectue leur transport jusqu'aux récipients disposés en des points voulus pour les recueillir; telle est l'idée que l'inventeur a voulu exprimer en nommant son système : nettoyage automoteur des chaudières.

D'une manière générale, le traitement chimique a pour objet la production, par double décomposition, de deux sortes de sels : les uns nettement insolubles, les autres très solubles et sans action sur les parois de l'appareil. Nous insisterons de nouveau sur la nécessité de ne confier le choix et le dosage de réactifs qu'à des personnes expérimentées. Si ces produits sont impurs, on risque d'introduire des substances capables d'attaquer les tôles; les agents corrosifs peuvent aussi résulter des réactions avec les sels de l'eau. C'est ainsi que l'emploi du chlorure de baryum (procédé de *Haen*), même parfaitement pur, devient dangereux lorsque les eaux contiennent du sulfate de magnésie; il se forme un précipité de sulfate de baryte et du chlorure de magnésium, ultérieurement décomposé par la chaleur; on sait l'action destructive que l'acide chlorhydrique mis en liberté exercera dans la chaudière et sur tout le parcours de la vapeur.

Souvent, la concentration des sels solubles, même inoffensifs, devient fort gênante. Sans parler des eaux marines, considérons le cas très ordinaire d'une eau renfermant des sels de chaux; leur épuration, par exemple, au moyen du carbonate de soude (procédé *Kulhmann*) donne à l'eau une alcalinité qui la rend très émulsive. A ce point de vue, l'intervention de la chaleur, dans le système *Dulac*, est avantageuse, en ce qu'elle permet d'atteindre le résultat voulu avec une quantité moindre de réactif.

L'efficacité du système, déjà manifestée à l'Exposition de 1878 (1), a pu être constatée tout dernièrement dans une usine du nord-est de Paris, alimentée par conséquent avec des eaux très séléniteuses. L'application avait eu lieu sur une chaudière à bouilleurs; après plusieurs mois de marche, les parois internes ont été trouvées recouvertes simplement d'une pellicule calcaire; toutes les boues étaient rassemblées dans les collecteurs, d'autant plus remplis qu'ils étaient plus voisins du foyer. Ces dépôts, non adhérents, avaient une consistance pâteuse; au contraire le tuyau d'alimentation était presque complètement obstrué par des incrustations d'une texture et d'une dureté rappelant celles des roches naturelles.

On a reproché aux collecteurs *Dulac* d'encombrer l'intérieur des chaudières; nous ne voyons pas quels graves inconvénients en résultent. La masse totale de l'eau reste à peu de chose près la même; la circulation le long des parois est favorable sous tous les rapports : absorption de la chaleur, entraînement des dépôts, dilatation plus égale dans les diverses parties de l'appareil. On peut penser, il est vrai, que le dégagement des bulles, concentré dans l'intervalle réservé au courant, favorise la tendance au primage. On remarquera combien il importe de maintenir la constance du niveau. D'abord, l'efficacité des collecteurs diminue rapidement avec l'épaisseur de la couche d'eau qui les surmonte; mais, ce qui est plus grave, si le niveau descendait jusqu'à ces collecteurs, il s'abaisserait alors très vite par la vaporisation de la

(1) M. *Dulac* avait eu la précaution, au début de l'Exposition, de faire assister à la fermeture de sa chaudière une commission composée de M. *Jourdain*, directeur de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, M. *Bougarel* et l'un de nous. Procès-verbal fut dressé du parfait état de propreté des tubes collecteurs; des scellés furent posés sur le tampon de visite, que l'on n'ouvrit que cinq mois plus tard. L'accumulation des boues était plus marquée dans les tubes voisins de l'arrivée d'eau; des collecteurs de forme spéciale, disposés à l'intérieur des augets, n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

couche en circulation, sans que la masse emprisonnée à l'intérieur pût rafraîchir les parois.

Le générateur de l'Exposition était alimenté d'une manière continue, par l'intermédiaire d'un régulateur système Cleuet qui sera décrit plus loin. On voit combien une alimentation intermittente eût été vicieuse dans cet appareil. Si l'eau cesse d'être injectée, la température à la surface du liquide dans les augets, s'élève progressivement; la condensation diminue au contact de cette surface, qui émet elle-même des vapeurs de plus en plus abondantes; la pression croît, en même temps que le niveau descend dans les augets. Si, à ce moment, une négligence quelconque a laissé le niveau principal s'abaisser d'une manière inquiétante, il devient impossible de porter instantanément remède à une situation qui continue à s'aggraver. Il faudra en effet que le niveau normal se rétablisse d'abord dans l'auget supérieur, puis successivement dans le second et dans le troisième, avant que l'eau arrive enfin baigner les parois menacées.

Il est donc très important que l'alimentation se règle automatiquement sur les variations du niveau principal. On observera que ce dernier devant toujours recouvrir la cornière du dernier auget, l'appareil indicateur ne pourra communiquer avec la chambre de vapeur qu'à l'aide d'un long tube, émergeant au-dessus de l'auget.

Tant que le niveau principal ne s'abaisse pas, il en est à plus forte raison de même de tous les autres, à moins cependant qu'il ne se produise des fuites par les joints des cornières. Un moyen bien simple de vérifier la hauteur de l'eau dans les augets consiste à relever le tube E_1 de manière que l'extrémité plongeante de chacun de ses branchements arrive un peu au-dessous du niveau normal correspondant; le robinet extérieur ne devra donner que de l'eau (en l'ouvrant assez long-temps pour être assuré qu'il ne s'agit pas de vapeur condensée). Ce mode de jaugeage suppose, comme c'était le cas à l'Exposition, que le tube F_1 traverse le dôme par une boîte à étoupes, et soit soutenu par un appareil de levage facile à manœuvrer.

En Allemagne, il n'y aurait pas lieu de se préoccuper, au point de vue des prescriptions légales, de la hauteur de l'eau dans les augets, la surface de chauffe tubulaire étant déjà supérieure à vingt fois la surface de grille. En France, il sera facile à M. Dulac de satisfaire tous les scrupules, et de réaliser un contrôle permanent des niveaux. Il suffirait, croyons-nous, en s'inspirant d'un artifice connu, de faire descendre de chacun des augets, jusqu'à portée du chauffeur, un tube métallique venant s'attacher à l'extrémité d'un tube de verre; les trois tubes de verre seraient montés sur un même tuyau horizontal, fermé aux deux bouts. Supposons que dans ce tuyau l'on introduise du mercure, et qu'on marque le point où il s'élève dans ces tubes communicants, les trois augets étant pleins; tant que ceux-ci resteront à leur niveau normal, la hauteur des colonnes mercurielles, indépendante de la pression intérieure, restera sensiblement constante. Mais si l'un des augets venait à se vider, immédiatement le niveau du mercure monterait au-dessus du repère dans le tube correspondant, et s'abaisserait dans les deux autres.

Nous avons vu que le générateur de l'exposition comportait deux bouilleurs réchauffeurs; le nombre des tubes était un peu moindre que dans le type actuel. Une autre modification consiste dans la suppression des collecteurs que M. Dulac avait suspendus à l'intérieur des augets, et dont il a reconnu le peu d'efficacité. Les deux éléments caractéristiques du système ne se manifestent pas, en effet, avec une énergie suffisante dans les augets; l'eau y est encore assez froide, et son échauffement par la surface ralentit beaucoup la circulation. On aura soin, lors des nettoyages, de soulever successivement les augets, et d'enlever les dépôts qui auront pu se former à leur partie inférieure.

Voici quelques données sur le générateur exposé, et sur son fonctionnement :

Surface de grille	1 ^{mq} , 40
Surface de chauffe	39 ^{mq} , 10
Tubes Field	15 40
Corps cylindrique	21 90
Réchauffeurs	
	TOTAL
	76 ^{mq} , 40
Rapport à la surface de la grille	54, 5
Volume moyen de l'eau	5 ^{mc} , 830
id. de la vapeur	2 ^{mc} , 220
Capacité totale des tubes collecteurs	0 ^{mc} , 740
Hauteur de l'appareil	6 ^m , 50
Surface d'emplacement	6 ^{mq} ,
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	12 ^{mq} , 7
Timbre	7 ^k , 500
Pression de marche	6 ^k
Houille brûlée par heure et par mètre carré de grille	55 ^k
Eau évaporée par heure	581

(Moyenne de 111 jours d'observation.)

On voit que le générateur Dulac est aussi peu encombrant que possible. Sa position verticale est avantageuse au point de vue de l'entretien ; la chaleur y est rapidement absorbée, et sa distribution uniforme dans chaque section horizontale assure une égale dilatation des pièces, qui nulle part ne travaillent à la flexion.

La multiplication des niveaux ne saurait retarder la mise en pression, puisque, à volume égal, au moment où la pression normale s'établit, toute l'eau devrait être à la température correspondante, dans le cas d'une seule masse liquide, tandis que celle suspendue dans les augets reste beaucoup plus froide. La charge d'eau sur le fond inférieur est notablement diminuée.

Par suite du faible rapport de la surface de niveau à la surface de chauffe (moins de $\frac{1}{50}$) les bulles, dont la force vive est encore augmentée par la circulation, doivent entraîner beaucoup d'eau, au moment où elles se dégagent. Mais diverses circonstances concourent à l'élimination des particules aqueuses : grande hauteur de la chambre de vapeur, changements brusques de vitesse, remous occasionnés par la présence des augets, accroissement de la surface de contact.

La vapeur une fois formée, ne reçoit plus de chaleur du dehors ; elle en cède au contraire sur son parcours, et cette cession se traduit par une condensation continue, atteignant sa plus grande intensité à la surface du niveau le plus élevé. D'après M. Dulac, il résulterait de cette condensation une légère détente de la vapeur, qui favoriserait sa dessiccation. Nous ne voyons guère la possibilité d'une pareille détente ; la relation avec la source de chaleur semble ici trop directe pour que la condensation en un point quelconque ait une autre action sur la masse de vapeur que de déterminer son écoulement. Peut-être les diverses causes de refroidissement sont-elles plus que compensées,

d'un côté par l'effet de la chaleur latente que dégage la condensation, de l'autre par l'augmentation de la masse de vapeur produite et de sa vitesse, en un mot, par un surcroît de force vive, dont la destruction ultérieure représente une restitution de calories.

En dehors des avantages spéciaux que présente le système Dulac pour l'épuration de l'eau et la sécurité des appareils, il nous semble que la chaudière verticale, à tubes Field et à niveaux superposés conviendrait particulièrement aux établissements métallurgiques, pour utiliser la chaleur perdue des fours à puddler ou à réchauffer. Elle donnerait un meilleur rendement, et serait d'un entretien plus facile que les générateurs ordinairement employés.

GÉNÉRATEUR TUBULAIRE, A FOYER AMOVIBLE, DE M. J. FARCOT, A SAINT-OUEN (SEINE)

La maison *Farcot et ses fils* avait exposé un générateur démontable, du même type que celui installé par elle pour le service des machines à l'Exposition de 1867. A part quelques modifications assez heureuses, l'ensemble est resté le même. Les dispositions générales du système, imaginé il y a près d'une vingtaine d'années, sont bien connues; mais il nous a paru intéressant de reproduire dans tous ses détails un appareil étudié et successivement perfectionné par l'un des plus célèbres et des plus anciens constructeurs du continent (la maison Farcot fut fondée en 1823).

Le générateur exposé en 1878 n'était pas en activité; on pouvait le voir, tout démonté, auprès des puissantes machines motrices sortant des mêmes ateliers. La planche XXI représente une installation faite depuis l'Exposition, par M. Joseph Farcot, qui, en 1878, a succédé à son père, dont il était depuis vingt-cinq ans le collaborateur.

La chaudière Farcot se compose, comme celle plus récente de la Société Centrale, de deux corps cylindriques superposés, l'un A formant réservoir d'eau et de vapeur, l'autre B contenant le foyer et le faisceau amovible. Mais, tandis que dans le système Thomas et Laurens les tubes reviennent s'attacher sur le fond antérieur, ici, le foyer n'occupe que la première moitié de la calandre, et se prolonge par un faisceau qui va déboucher à l'arrière.

L'amovibilité ne peut donc être obtenue que par deux joints. D'une part le fond antérieur légèrement convexe, auquel est attaché le foyer, vient se boulonner sur une bride rivetée extérieurement. A l'autre extrémité, le diamètre du joint est naturellement intérieur à celui de la calandre; l'attache se fait en *b'*, par l'intermédiaire d'une courte virole fixée sur le bord embouti de la plaque tubulaire.

Les deux portées de chacun des joints présentent, à une petite distance en dedans de la ligne des boulons b , une rigole circulaire dont les faces sont inclinées en biseau (voir le détail à la figure 5). Un anneau b^2 en cuivre rouge, de 0^m, 008 d'épaisseur sur 0^m, 022 de largeur environ, se loge entre les deux rigoles, et l'écrasement de ses arêtes sous le serrage des boulons assure l'étanchéité du joint. On a soin d'enduire l'anneau d'un peu de minium.

Le cuivre est plus coûteux que le caoutchouc, mais l'interposition de cette substance serait impraticable pour le joint d'arrière, en contact direct avec les produits de la combustion. Cette position est assez désavantageuse pour les boulons; on remarquera cependant qu'ils n'ont presque aucun effort à supporter, et qu'en marche, le serrage du joint devient plus énergique à mesure que le foyer et le faisceau se dilatent.

L'appareil vaporisateur est supporté de chaque côté par deux galets venant s'appuyer sur une cornière longitudinale h , rivetée à l'intérieur de la calandre. L'un de ces galets est monté sur la virole d'attache d'arrière, l'autre vers le milieu du foyer, un peu au-dessus de l'axe, ce qui a l'inconvénient de créer une surépaisseur directement exposée aux flammes.

Lorsqu'on veut sortir le vaporisateur, on défait les deux joints, on dégage le fond antérieur de manière à pouvoir boulonner à sa partie inférieure la bride d'un cinquième galet de support; à l'aide d'un palan, on fait alors rouler toute la partie amovible jusqu'à ce que le faisceau soit accessible dans toute sa longueur.

Les constructeurs ont cherché à diminuer autant que possible l'effet de la dilatation plus grande du vaporisateur. D'abord, on a composé le foyer de quatre viroles assemblées par rabattement extérieur des bords et interposition d'un mince anneau en tôle. Nous avons vu que cette disposition, outre l'avantage de placer les rivets à l'abri de la flamme, donnait à l'ensemble une certaine élasticité. D'autre part, l'attache du foyer sur le fond antérieur s'obtient par l'intermédiaire d'une pièce présentant un double emboutissage: vers l'intérieur suivant l'ouverture du foyer, vers l'extérieur suivant celle ménagée à travers le fond; cette dernière est plus petite que l'autre, et lui est excentrique d'une quantité égale à la différence des deux rayons. Il en résulte que la pièce d'attache constitue une sorte de soufflet circulaire, dont le point fixe se trouve à la partie inférieure, sur la génératrice commune aux deux emboutissages, et dont l'amplitude possible va en croissant jusqu'au ciel du foyer, où la dilatation se fait le plus sentir.

Cette pièce d'attache, en tôle de qualité supérieure, reçoit une épaisseur moindre que celle du foyer, précisément pour qu'elle se prête mieux aux déformations de ce dernier. Il importe de la protéger, ainsi que le ciel du foyer, par une active circulation d'eau. Sous ce rapport, le générateur de l'Exposition réalise de notables progrès.

Dans le modèle primitif, le corps supérieur avait un diamètre plus faible que l'autre cylindre, auquel il n'était relié que par deux cuissards, inévitablement assez éloignés de chaque extrémité; de plus le foyer et la calandre étaient parfaitement concentriques. Actuellement, les deux corps ont même diamètre, ce qui augmente beaucoup les réserves d'eau et de vapeur. Ils communiquent par trois cuissards, c'est-à-dire qu'on peut en placer un immédiatement au-dessus de la région occupée la grille. Enfin, un léger abaissement de l'axe du foyer diminue les résistances à l'écoulement le long des parois à protéger, et permet, notamment, à l'appel produit par le courant ascendant de se faire mieux sentir derrière la pièce d'attache.

La grille a une grande longueur; elle est attachée un peu au-dessous de l'axe du foyer, et présente une légère pente vers l'arrière. Derrière l'autel est ménagée une chambre d'inflammation, séparée du cendrier par la plaque f^1 .

Le faisceau offre une grande section à l'écoulement des gaz; même en supposant qu'ils ne se distribuent pas également entre tous les tubes, on peut penser qu'ils auront le temps de leur céder la plus grande partie de leur chaleur. Les tubes sont placés par colonnes verticales, ce qui facilite un peu la circulation de l'eau et de la vapeur, toujours gênée dans les chaudières tubulaires.

La disposition particulière des tubes permet d'opérer au moins partiellement leur nettoyage, une fois le vaporisateur amené au jour. On voit qu'il est possible de faire glisser une lame de scie très flexible à travers le faisceau dans trois directions, ce qui détermine autour de chaque tube un hexagone suivant lequel l'enlèvement des incrustations pourra être effectué.

Nous avons représenté à une plus grande échelle (fig. 6) le mode d'attache d'un tube; on voit qu'il est rivé aux deux bouts, et bagué seulement à l'avant, où le choc des flammes donne lieu à de plus fréquentes réparations. Le petit bourrelet formé derrière chacune des plaques, prévient le refoulement des bords de l'ouverture, pendant qu'on rive le tube.

Les gaz, à leur sortie du faisceau, sont retenus autour de la chaudière par une enveloppe non conductrice, formant une vaste chambre C. Leur vitesse se ralentit; ceux qui arrivent par les tubes supérieurs, c'est-à-dire les moins refroidis, s'élèvent entre les deux cylindres, jusqu'à une vingtaine de centimètres de l'axe du plus élevé; le reste circule sous la calandre, qui est simplement posée sur trois chandeliers I. Une cloison, supportée par l'enveloppe, maintient la séparation des deux courants, et empêche les filets venant des tubes supérieurs d'être trop vite appelés dans le carneau de départ c₁.

Ce carneau communique avec une chambre souterraine c², très haute, sous la voûte de laquelle est installé un long réchauffeur B¹ légèrement incliné vers l'arrière. L'ouverture d'arrivée a toute la hauteur de la chambre; les gaz y prennent une vitesse moindre, les plus chauds entourant le réchauffeur. A l'autre bout, un conduit moins élevé emporte les couches les plus denses à la cheminée.

M. Farcot, qui a été l'un des premiers à préconiser la circulation méthodique de l'eau dans les chaudières, nous montre ici comment on doit entendre cette condition très rationnelle; c'est-à-dire qu'il faut chercher à la réaliser d'une manière générale, et non absolument, sur tous les points, au risque de sacrifier des avantages plus pratiques. L'alimentation se fait à l'extrême la plus froide du réchauffeur; l'eau est ensuite ramenée vers l'arrière par un tuyau en cuivre E¹, qu'il serait plus méthodique de placer sous l'enveloppe. L'introduction dans la calandre a lieu, non pas à la partie inférieure, et la moins chauffée, mais au milieu du dernier cuissard, par le moyen du prolongement intérieur e¹. L'eau descend d'abord dans ce cuissard, en vertu de sa densité; elle est aussitôt appelée par le courant ascendant au-dessus du foyer. Le liquide s'élève moins librement à travers le faisceau; enfin la circulation est faible sur le fond de la calandre, où s'accumulent principalement les dépôts.

Un robinet de vidange e² permet de les faire évacuer en partie par la conduite E². Il importe, bien entendu, que ce robinet ferme toujours parfaitement. En cas de refoulement vers les pompes, ou de fuites sur le trajet à la chaudière, le niveau, grâce au tuyau e¹, ne pourra s'abaisser jusqu'à la calandre. La tubulure d'alimentation sert aussi à vider le réchauffeur, dans lequel se dépose la majeure partie du carbonate de chaux.

Un niveau Lethuillier-Pinel, à deux sifflets et une soupape, est installé au-dessus du premier cuissard; c'est dire à quelles oscillations se livrera le barreau aimanté.

La vapeur est puisée sur toute la longueur de l'appareil par un tube présentant à sa partie supérieure une fente longitudinale de 0^m, 003. Ce tube communique seul avec le réservoir D, qui

élève de plus d'un mètre au-dessus de l'appareil la valve de prise de vapeur; cette dernière est manœuvrée depuis le sol à l'aide du volant v.

L'enveloppe *P* recouvre toutes les surfaces du générateur non parcourues par les gaz, y compris le dôme, et le fond antérieur; le joint d'avant et les divers accessoires restent seuls visibles extérieurement. Cette enveloppe est constituée par des feuilles de tôle, entretoisées et consolidées par des ornières et des cercles, entre lesquelles on tasse un mélange non-conducteur de bourre, de sciure de bois et d'argile. A l'arrière, une large ouverture, fermée par deux battants composés de la même façon que l'enveloppe, permet de nettoyer l'intérieur des tubes, et la surface de chauffe extérieure.

Ce revêtement léger, peu encombrant, facile à déplacer, est préférable aux massifs en maçonnerie au point de vue de la surveillance des parties cachées de la chaudière.

Voici les principales données relatives au générateur exposé :

Cylindre supérieur	{ longueur	7 ^m ,360
	diamètre	1 ^m ,600
Cylindre inférieur	{ longueur	7 ^m ,280
	diamètre	1 ^m ,600
Foyer	{ longueur	3 ^m ,600
	diamètre	1 ^m ,310
Dôme	{ hauteur	1 ^m ,340
	diamètre	0 ^m ,800
Cuissards.	{ à l'avant, diamètre	1 ^m ,000
	au milieu id.	0 ^m ,900
	à l'arrière id.	0 ^m ,800
	nombre	140
Tubes	{ longueur entre plaques	3 ^m ,300
	diamètre intérieur	0 ^m ,064
Réchauffeur	{ longueur	7 ^m ,920
	diamètre	0 ^m ,700
	corps supérieur	0 ^m ,0145
	fond	0 ^m ,016
	corps inférieur	0 ^m ,0145
Épaisseurs	{ fond antérieur	0 ^m ,028
	foyer	0 ^m ,0165
	attache du foyer	0 ^m ,014
	plaques tubulaires	0 ^m ,025
	tubes	0 ^m ,003
Surface de grille		2 ^{mq} ,85
Surface de chauffe de la chaudière.	{ foyer	14 ^{mq} ,60
	tubes	92 ^{mq} ,70
	totale	160 ^{mq} ,00
Surface de chauffe du réchauffeur		16 ^{mq} ,00
Rapport de la surface de chauffe de la chaudière à celle de la grille		56,00
Volume moyen de l'eau		14 ^{mc} ,00

Volume moyen de la vapeur	6 ^{me} ,800
Surface de chauffe par mètre cube d'eau	11 ^{ma} ,40
Surface de niveau	11 ^{ma} ,70
Rapport à la surface de chauffe	13,6
Surface d'emplacement	18 ^{ma} ,90
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	8 ^{ma} ,50
Timbre	5 ^k ,00

Les tôles provenaient des forges de Montataire ; les fonds de la calandre, le foyer et les plaques, en fer supérieur, le reste en tôle puddlée ; les viroles étaient assemblées avec des recouvrements de 0^m,040, les joints longitudinaux double-rivés. Les tubes étaient écartés de 0^m,095 d'axe en axe ; la maison Farcot emploie soit des tubes Mignon et Rouart, en fer, soit des tubes Laveissière, en laiton.

Le générateur Farcot constitue un appareil de grande industrie, économique, facile à installer et à conduire. Par l'élévation du niveau au-dessus de la calandre, il échappe aux dangers qui menacent les foyers intérieurs ; par l'amovibilité de la partie la plus exposée, les réparations et les nettoyages y deviennent plus faciles, mais comme le démontage ne peut être exécuté qu'à de longs intervalles, l'appareil reste en partie soumis aux inconvénients du système tubulaire lorsque l'eau d'alimentation est très impure. M. Farcot après chaque nettoyage, recouvre les surfaces exposées aux dépôts d'une légère couche de goudron.

L'augmentation du diamètre du corps supérieur a pour excellent résultat une production plus régulière de vapeur encore plus sèche. Le seul inconvénient de cette modification est d'accroître la charge déjà considérable de la calandre, sur laquelle pèsent le foyer, le faisceau et le corps supérieur. Il serait facile de la soulager, et de l'empêcher de prendre une forme elliptique qui fatiguerait beaucoup les boulons des joints. Cette forme elliptique s'accuserait davantage par l'effet de la dilatation ; au contraire la pression intérieure tendrait à rétablir la forme circulaire, sauf dans les sections transversales passant par les cuissards (fig. 3), où la pression concourt avec la dilatation pour écarter les points situés sur la même horizontale. En effet, si elle s'exerçait librement, elle confondrait les deux cercles en un seul, de surface maximum.

En comparant le système Farcot à celui de MM. Thomas et Laurens, on voit que la suppression des tubes autour du foyer permet d'augmenter son diamètre, et par suite la surface de chauffe directe, et la largeur de grille. L'installation du faisceau sur toute la section du foyer donne lieu à un accroissement encore plus important de la surface de chauffe. Le vaporisateur arrive ainsi à atteindre une longueur irréalisable lorsque les tubes doivent revenir le long du foyer.

On renonce, il est vrai, à l'amovibilité par un seul joint, mais toute infériorité disparaît à cet égard si l'on double la puissance de l'appareil, c'est-à-dire s'il peut faire le même service que deux chaudières Thomas et Laurens, dont la longueur est limitée par celle de leurs tubes. Les réparations à l'attache des tubes seront plus fréquentes avec disposition de M. Farcot, par suite du choc plus direct des gaz ; celles sur la plaque d'arrière seront plus faciles à exécuter que dans la chaudière Thomas et Laurens, où un démontage complet devient alors indispensable.

Ce dernier système conserve l'avantage d'une dilatation libre du vaporisateur, nous avons vu par quels artifices de construction les fâcheux effets de l'inégale température des différentes parties de la chaudière sont atténuées dans celle de M. Farcot.

En résumé, le système Thomas et Laurens (type de la Société Centrale de Construction) paraît d'autant plus avantageux que l'appareil est plus petit ; le contraire a lieu pour le système Farcot, qui finit par devenir seul possible pour de très grandes puissances.

GÉNÉRATEURS DIVERS, A FOYER EXTÉRIEUR

L'objet principal des systèmes que nous venons de comparer, est d'utiliser plus rapidement et plus complètement la chaleur du foyer en entourant de parois baignées d'eau, non seulement ce foyer, mais encore les régions les plus chaudes du courant gazeux, puisque l'importance des déperditions croît avec la température. C'est encore cet objet que l'on poursuit lorsque dans les générateurs à grille et circulation des gaz extérieures on cherche à augmenter, pour le foyer et les carreaux principaux, le rapport de la surface utile de chauffe à celle des maçonneries.

Les exemples qui suivent, où l'eau circule à l'intérieur de tubes de plus en plus petits, caractérisent la tendance actuelle de l'industrie à demander aux constructeurs, surtout dans les villes, des appareils très sectionnés, offrant une grande surface de chauffe par mètre carré d'emplacement. Ces appareils, en raison de la faible quantité d'eau qu'ils renferment, ou de sa température constamment différente dans les récipients séparés qu'elle parcourt, sont d'une mise en pression rapide, et leur allure variable peut être plus facilement réglée suivant la dépense. Le sectionnement de la masse d'eau n'a nullement pour résultat d'augmenter la sécurité ; le contraire peut même se produire, mais en tout cas l'accident se trouve localisé, c'est-à-dire que ses effets s'étendent moins loin à mesure que le récipient où il a lieu représente une plus faible puissance explosive.

Ces avantages ne sauraient être obtenus qu'au prix d'une plus grande attention apportée à la conduite des générateurs. A cet égard, les industriels peuvent tenir compte aussi de la précision des divers accessoires, sans cesse perfectionnés, et de l'habileté aujourd'hui moins rare des chauffeurs.

Générateur à bouilleurs-réchauffeurs, de M. Joachim, à Paris.

Par cette expression, d'ailleurs peu correcte, de *bouilleurs-réchauffeurs*, nous désignerons les bouilleurs dans lesquels l'eau peut conserver constamment une température inférieure à celle de la chaudière proprement dite, ce qui est bien le caractère des réchauffeurs. Pour que cette condition soit remplie, il suffit que ces bouilleurs ne communiquent avec le corps principal que par l'une seulement de leurs extrémités.

Le générateur représenté à la planche XX figurait en dessin à l'Exposition de 1879 (au palais de l'Industrie); il a été étudié par M. Joachim, constructeur de cheminées et fourneaux d'usine, qui l'a depuis installé à Paris. Dans ce système, le travail de chaudronnerie est des plus simples; ce qu'il y a d'intéressant, c'est la disposition générale du massif et la distribution des carreaux. La masse d'eau est sectionnée comme dans les générateurs Artige, Escher et Wyss, etc.

La construction comprend deux étages. Premièrement une vaste chambre C , dans l'axe de laquelle est disposée une chaudière A , de 0^m,900 seulement de diamètre, munie à l'arrière d'un bouilleur central B , que supportent les chandeliers L . Ce bouilleur s'arrête près de l'autel, et les produits de la combustion s'élèvent librement dans le foyer, jusqu'au corps supérieur. Ils rencontrent de chaque côté deux autres cylindres B^1 B^2 , remplis d'eau, et occupant toute la longueur du massif. Ces cylindres sont séparés entre eux et des parois de la chambre par des cloisons verticales en maçonnerie, telles que K ; leur ensemble constitue avec la chaudière, une sorte de carreau intérieur, dans lequel les gaz rencontrent une grande surface métallique. La murette élevée entre chacun des cylindres B^2 , et le sol de la chambre se prolonge jusqu'au mur du fond, mais les deux autres cloisons K s'arrêtent à un mètre de ce mur; les gaz passent de chaque côté sur la seconde moitié de la surface de B^1 , mais la cloison k , séparant les carreaux C^1 et C^2 , les empêche d'atteindre B^2 . Ce n'est qu'à un mètre du mur antérieur qu'ils peuvent descendre et retourner une seconde fois vers l'arrière, le long de ces cylindres.

Les cloisons K sont formées par des briques réfractaires encastrées dans la voûte; les séparations k consistent en de simples plaques reposant d'un côté sur les cylindres B^2 , de l'autre sur une saillie du revêtement réfractaire.

A l'extrémité des carreaux C^2 , les gaz s'engagent de part et d'autre sous une voûte K' , descendante à l'étage inférieur, et sont ramenés à l'avant par le compartiment C^3 , dans lequel est installé un réchauffeur. Ils passent ensuite sous la voûte qui forme le sol du cendrier, et enveloppent, dans le compartiment C^4 , un second réchauffeur, avant de s'en aller à la cheminée.

L'alimentation se fait à l'extrémité d'arrière de ce dernier réchauffeur. Un tuyau en cuivre rouge b^4 , fait passer l'eau, à l'avant, d'un réchauffeur à l'autre. Un autre tuyau b^3 , la distribue par le branchement b^2 , aux cylindres B^2 , qui communiquent chacun avec le cylindre B^1 , correspondant à l'aide de tubulures b^1 ; enfin les bouilleurs B^1 sont reliés par des tubulures semblables b , au corps principal. Tous ces cylindres présentent une légère pente vers l'extrémité par laquelle l'eau est introduite; l'air et la vapeur qui se séparent dans ces récipients se dégagent aisément jusqu'à la chaudière. Le joint boulonné des tubulures de communication se fait, comme dans le système Farcot, par l'intermédiaire d'un anneau de cuivre rouge.

Les bonnes dispositions du foyer, la circulation des gaz les plus chauds à l'intérieur du faisceau formé par l'ensemble des cylindres, le brassage déterminé par la rencontre du bouilleur central, les retours et renversements multipliés du courant, toutes ces conditions sont très favorables à l'absorption de la chaleur. On doit seulement veiller au bon état des cloisons verticales, dont la dégradation pourrait modifier le parcours des gaz. Le rayonnement de la grille est bien utilisé.

La circulation de l'eau est parfaitement méthodique, mais sa vitesse n'est déterminée que par l'alimentation, puisqu'en s'élevant jusqu'à la chaudière, les couches liquides rencontrent toujours au-dessus d'elles des couches moins denses.

Des échanges par suite d'une différence de densité s'établiront entre le corps principal et son bouilleur, dont les deux cuissards sont inégalement chauffés; comme ce bouilleur est en contact par sa partie supérieure avec les filets gazeux les plus chauds, l'eau y restera probablement assez

calme, ce qui favorisera le dépôt des matières solides descendant par le cuissard d'arrière. L'eau restera relativement tranquille aussi à la partie antérieure de la chaudière, et des incrustations seraient à craindre au-dessus du coup de feu, si la précipitation des sels ne s'était pas complètement effectuée dans les réchauffeurs et bouilleurs successifs.

A un autre point de vue, le chauffage direct du corps supérieur est très avantageux; il réalise en effet une large surface de vaporisation, recouverte d'une faible hauteur d'eau, conditions qui concourent à diminuer l'entraînement de l'eau. La réserve de vapeur, et la hauteur de prise sont notablement augmentées par l'installation d'un réservoir *D*; ce réservoir est entouré d'un revêtement en briques, mais qui n'arrive nulle part en contact avec les tôles.

Nous avons déjà fait remarquer, à propos du générateur exposé en 1878 par MM. Escher et Wyss, que le dédoublement des chaudières en cylindres de moindre diamètre donnait lieu, à surface de chauffe égale, à une réduction considérable du poids, et par suite du prix de l'appareil. De là aussi un transport plus facile, surtout lorsque les récipients sont reliés entre eux, comme dans le système de M. Joachim, par des joints démontables. Si la construction du massif a ici une certaine importance, l'installation des divers cylindres est très simple à exécuter. Leur entretien intérieur et extérieur est facilité par les tampons autoclaves *T* dont ils sont munis, et les regards *o* ménagés à travers les murs de front et d'arrière. Les cendres entraînées dans le premier parcours des gaz sont en partie recueillies, à l'étage inférieur, dans une chambre centrale, dont la voûte est percée d'un grand nombre de petites ouvertures.

La mise en pression sera effectuée dès que l'eau dans la chaudière et son bouilleur aura atteint la température voulue, quel que soit à ce moment le degré d'échauffement dans les autres récipients. L'allure du générateur, assez variable avec la dépense par suite du faible volume d'eau maintenu à la température de la vapeur, sera plus constante lorsque l'activité de la combustion variera seule, le massif formant alors volant de chaleur.

La réduction des diamètres est encore avantageuse au point de vue des accidents possibles; mais on remarquera que les tôles les plus exposées appartiennent à la capacité la plus volumineuse. Les gaz arrivent à une très haute température dans le voisinage du plan d'eau, il est donc de la plus sérieuse importance de ne pas le laisser descendre au-dessous des maçonneries, d'autant plus que le faible diamètre de la chaudière rendrait cet abaissement très rapide.

Générateur à bouilleurs verticaux de M. Cadiat, à Toulon (Var).

MM. Édouard Mouraille et C^{ie} (ancienne maison Peyruc cousins), constructeurs de machines, chaudières et charpentes métalliques à Toulon-sur-mer, ont installé dans ces dernières années plusieurs générateurs du système Cadiat, dont un modèle au dixième figurait à l'Exposition de 1878.

L'appareil (*Voir pl. XXII*) se compose de trois corps cylindriques de faible diamètre, disposés côté à côté; des deux extrêmes *A*, descendant un certain nombre de bouilleurs verticaux *B*, presque jointifs; au cylindre intermédiaire *A*¹ est rattaché, par trois longs cuissards *B*¹, un bouilleur horizontal *B*² placé à une petite distance de la grille. Celle-ci occupe en largeur l'intervalle des deux rideaux de bouilleurs *B*, dont l'extrémité inférieure vient, à travers un autel latéral *h*, déboucher dans le cendrier. Le niveau s'établit un peu au-dessus de l'axe des cylindres supérieurs, qui sont reliés entre eux d'une part au moyen du réservoir transversal *D*, de l'autre par le tube en cuivre *e*, par lequel se fait l'alimentation.

Les figures 4 et 5 indiquent en détail le mode de construction des cuissards B^1 et des bouilleurs verticaux. Tous renferment un tube de circulation, boulonné sur de petites pattes fixées au corps supérieur. Les bouilleurs B constituent en quelque sorte des tubes Field, mais on remarquera qu'ils ne sont pas soumis aux mêmes inconvénients. Leur extrémité n'est pas exposée au feu; l'eau y reste relativement froide et en repos, le tube b s'arrêtant à une vingtaine de centimètres du fond. Les dépôts qui tendraient à obstruer le bouilleur s'accumuleront sur ce fond, qui est muni d'un tampon de vidange à boulon creux. Pour opérer l'évacuation, il suffira de dévisser l'écrou en bronze qui ferme l'extrémité du boulon.

Les bouilleurs verticaux sont formés d'une feuille de tôle dont la rivure longitudinale est tournée du côté de la maçonnerie. L'attache sur le corps A , s'obtient par l'intermédiaire d'une virole a , aplatie de manière que ses bords rabattus puissent trouver place sur la paroi du cylindre, sans que l'intervalle des bouilleurs dépasse quelques millimètres. L'élargissement de cet intervalle dans la région d'attache produit au-dessous du cylindre une série d'ouvertures c , par lesquelles les gaz développés dans la chambre C peuvent descendre de l'autre côté des bouilleurs. Les viroles d'attache, en raison de leur forme irrégulière et de leur exposition perpendiculairement au courant gazeux, sont en tôle plus forte et de meilleure qualité que celle des bouilleurs. Le dessous des cylindres A , formant plaque tubulaire, reçoit aussi un surcroit d'épaisseur.

L'inflammation des gaz s'opère en de bonnes conditions (grande hauteur au-dessus de la grille et brassage déterminé par la rencontre du bouilleur horizontal). Bien qu'une grande partie de la surface de chauffe soit parallèle à la direction du courant, elle ne laisse pas d'être très efficace, par l'effet de la circulation active de l'eau.

Les bulles de vapeur arrivant par les bouilleurs, ou formées sur la paroi inférieure des cylindres horizontaux, pourraient être entraînées par le courant descendant produit au-dessus des tubes de circulation. Pour prévenir cette circonstance, favorable au primage, deux longues plaques a^1 , (fig. 5) sont disposées de manière à guider les bulles jusqu'à une région où l'appel par les orifices des tubes b ne se fait plus sentir.

La circulation des produits de la combustion nous paraît la partie la moins heureuse du système. Après avoir parcouru la paroi des bouilleurs verticaux tournée vers les maçonneries, les gaz s'engagent dans une série de petits carneaux C^1 , ménagés à travers le revêtement refractaire. Cette division du courant au milieu du massif, n'a d'autre inconvénient que de compliquer l'appareil, de gêner le tirage et d'augmenter notablement les déperditions de chaleur. Mais voici qui est plus sérieux. Revenus à la partie supérieure, les gaz se répandent dans la chambre formée au-dessus des cylindres par l'enveloppe P , avant de passer, par le conduit C^2 , à la cheminée. On ne saurait, à aucun point de vue, recommander une semblable disposition. D'abord le but que l'on se propose, le séchage de la vapeur, ne sera probablement pas atteint; les gaz se trouveront beaucoup trop refroidis pour céder encore des calories à une masse de vapeur, déjà portée à 150 ou 180° (d'après les constructeurs, plusieurs chaudières de ce genre fonctionnent à la pression de 10 kil. effectifs). S'il en était autrement, si les gaz arrivaient constamment très chauds sur des parois non baignées d'eau, la sécurité de la chaudière serait gravement compromise. De toute manière, les produits de la construction ne pourront qu'ajouter aux diverses causes de corrosion et d'altération de la résistance des pièces dans cette région (les cuissards d du réservoir de vapeur sont en fonte, et fixés sur les cylindres par des boulons).

En principe, le surchauffage de la vapeur dans des capacités de grand diamètre est non seulement dangereux, mais peu efficace. L'échauffement d'un fluide non conducteur

et diathermane ne s'opère qu'à la surface de contact; il faut donc augmenter le plus possible cette surface, c'est-à-dire le rapport :

$$\frac{\frac{\pi D}{4}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4}{D}$$

ce qui revient à diminuer D , ou, en d'autres termes, à faire circuler dans des tubes soit la vapeur, soit les gaz, comme dans le générateur [Sulzer. Ce dernier mode est même plus rationnel, le milieu le moins chaud se trouvant seul en contact avec l'air extérieur. De plus, le séchage de la vapeur devrait être opéré loin du contact de l'eau, sinon, la plus grande partie de la chaleur transmise ne fera qu'ajouter à la vaporisation. Cet effet n'est certes pas inutile, mais on l'eût obtenu avec beaucoup moins de pertes, en appliquant directement la chaleur à des parois baignées d'eau.

Au pied de chacun des carreaux c^t , se trouve un regard o , permettant de vérifier que le passage des gaz n'est pas obstrué. Mais le nettoyage intérieur des conduits exige le démontage de l'enveloppe supérieure, formée de feuilles de tôles recouvertes d'une couche de sable et d'argile.

En introduisant dans l'intervalle des bouilleurs verticaux une lame de scie, de forme cintrée, on peut arriver à gratter la partie de leur surface qui est tournée du côté des maçonneries. Il resterait à faire tomber aussi la suie qui s'attache au revêtement. Une dernière critique que nous nous permettrons, au point de vue de l'entretien extérieur, concerne la contiguïté des cylindres supérieurs, d'où résulte l'impossibilité de visiter la région de contact; cette région plus que toute autre est sujette aux altérations: les suintements par les rivures ou les joints boulonnés, viennent s'y rassembler, tandis qu'à l'intérieur l'action corrosive de certaines eaux s'exerce également sur les tôles alternativement couvertes et découvertes par le niveau.

Les dépôts s'accumulent principalement à la partie inférieure des bouilleurs verticaux et du bouilleur central. Comme ce dernier est directement exposé au feu, il est important de l'entretenir en bon état. Il est muni d'un tampon autoclave et d'un robinet de purge e' . La vidange des bouilleurs verticaux dans le caniveau E^t , ne peut se faire commodément que lorsque tout l'appareil est refroidi. Si l'eau d'alimentation était très impure, il serait facile d'imaginer une disposition permettant d'opérer, de l'extérieur, quelques extractions pendant la marche.

L'appareil est peu encombrant, et la possibilité de démonter le réservoir transversal, rend l'installation très facile. Si l'un des trois groupes constituant le système nécessite une réparation, on peut le sortir seul, après avoir enlevé la couverture.

Surface de grille	1 ^m ,70
Surface de chauffe	43 ^{mq} ,00
Rapport à la surface de grille	27,6
Volume moyen de l'eau	4 ^{mc} ,600
Volume moyen de la vapeur	1 ^{mc} ,850
Surface de niveau	6 ^{mq} ,00
Surface d'emplacement	11 ^{mq} ,60
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	3 ^{mq} ,70
Hauteur totale	5 ^m ,00
Timbre	8 ^{kil}

D'après MM. É. Mouraille et C^{ie}, la chaudière peut vaporiser plus de 970 litres par heure, à

raison de 8⁸, 5 par kilogramme de charbon. Ces chiffres correspondent à une grande efficacité de la surface de chauffe, mais en raison de cette activité même de la vaporisation, et aussi de la distance que les bulles ont à parcourir, il nous semble difficile que la vapeur soit très sèche.

Générateur de M. J.-G. Schmidt, à Gleiwitz (Allemagne).

Le générateur Schmidt, que construisent depuis quelques années MM. Huldschinsky et fils, de Gleiwitz (Silésie), n'est qu'une modification du système Root; plusieurs de ses dispositions rappellent les derniers modèles de MM. Belleville.

L'originalité du système consiste principalement dans l'addition d'un réchauffeur tubulaire, dont on conçoit aisément les avantages.

La planche XXIII représente le dernier type, notamment perfectionné par M. Schmidt. Entre autres différences, l'ancien modèle ne comportait pas de réservoir de vapeur; l'eau ne circulait que dans les trois premiers étages des tubes, au-dessus de la grille. La vapeur se surchauffait beaucoup dans les étages suivants, mais la surface de chauffe se trouvait réduite, et les tubes étaient plus exposés à se brûler.

Le massif est divisé en deux chambres par la cloison *h*: l'une *C*, contient la grille et le faisceau vaporisateur *A*, qui occupe toute la section du foyer; l'autre *C'*, est entièrement remplie par le réchauffeur *A'*. Ces chambres sont mises en communication par les fenêtres *C*, ménagées dans la cloison. Les deux faisceaux, composés d'éléments semblables, sont naturellement disposés en travers, de manière que les extrémités soient accessibles par les portes *P*, *P'*, des murs latéraux.

Les tubes sont placés en quinconce. Le raccordement de chacun d'eux avec celui qui le surmonte est obtenu, comme dans le système Root, à l'aide de boîtes *B*, à deux tubulures (fig. 5, 6 et 7). Chaque tubulure porte deux oreilles, à travers lesquelles peuvent s'enfiler deux boulons conjugués. Les têtes de ces boulons s'engagent sous des crochets venus de fonte sur un chapeau *a*, vissé à l'extrémité du tube (fig. 8, 9 et 10). L'orifice extérieur du chapeau a un diamètre plus grand que celui du tube; la tubulure de la boîte correspondante vient s'y engager exactement, et avec une portée suffisante. Les surfaces en contact doivent être dressées au tour. Les chapeaux *a* sont, comme les boîtes de raccordement, en fonte malléable; ils se terminent par une partie rectangulaire, et l'ensemble de ces plaques, rabotées sur les quatre bords, forme, de chaque côté du faisceau, un mur qui intercepte la sortie du gaz.

On voit, par la disposition des boîtes, que les tubes d'un même élément vertical constituent un véritable serpentin, comme dans le système Belleville. Dans le générateur Naeyer, au contraire, chaque tube communique avec tous ceux qui appartiennent au même élément, et nous avons fait remarquer qu'il en résultait, sinon un trajet plus court pour les bulles, du moins un surcroit de circulation, et par suite une protection plus efficace des tubes. M. Schmidt, dans le but de faciliter le dégagement de la vapeur formée dans les deux premiers étages de tubes, a placé à leur sortie des boîtes doubles, qui mettent trois étages en communication. Il est à espérer qu'il s'établira une circulation parasite entre le second et le troisième étage, sinon, la vitesse de l'eau se trouverait ralentie sur des points très exposés; elle serait moins grande à ces étages que dans le suivant, par le seul fait (indépendamment de l'influence croissante des bulles) que deux tubes n'en auraient qu'un à alimenter. Des boîtes à tubulure unique *B'* ferment les tubes des étages extrêmes, reliés à l'un des collecteurs.

Ces collecteurs sont de simples tuyaux de fonte, disposés longitudinalement sur un même côté de l'appareil. Celui désigné par l , à la partie inférieure du réchauffeur, reçoit l'eau d'alimentation; le collecteur du haut l' , communique par le tuyau l^2 avec le collecteur inférieur L du vaporisateur; enfin le collecteur supérieur L' est relié par trois tubulures au réservoir D . Ces tubulures sont munies de prolongements d qui s'élèvent un peu au-dessus du niveau maximum; sans cette disposition, la vitesse de la vapeur à travers la couche de liquide déterminerait un primage considérable.

A l'état statique, le niveau est exactement le même dans le réservoir et dans les tubes d ; mais en marche, il n'en est plus ainsi, par suite de la perte de charge due à la vitesse de l'eau dans le vaporisateur et aux diverses résistances qu'elle y rencontre, par suite surtout de sa transformation progressive en vapeur. Le tube de verre installé sur le réservoir ne peut donner aucune indication sur la hauteur vraie de l'eau, puisque cette hauteur dépend de circonstances indépendantes, la charge d'eau, l'activité de la dépense, l'énergie de la combustion. Cet inconvénient est bien corrigé par la mise en communication des deux collecteurs L et L' , au moyen du tuyau J ; malheureusement, une partie de l'eau arrivant par ce tuyau sera entraînée dans la chambre de vapeur.

La prise se fait sur le fond antérieur du réservoir; ce fond est en fonte; il est convexe vers l'intérieur, de manière à travailler à la compression. Il est muni d'un tampon autoclave.

Le nettoyage intérieur de l'appareil s'opère facilement, par le démontage des boîtes. Il importe seulement de conserver en parfait état toutes les pièces du joint. Les sels précipités pendant le passage de l'eau à travers le réchauffeur seront en partie conduits jusqu'au réservoir D , où ils se déposeront; pour empêcher leur retour dans le collecteur l' , la tubulure d'arrière porte un court prolongement d' . Une autre portion des matières entraînées est recueillie par le tuyau déjecteur j , placé au point de croisement des tuyaux L et J . Ce déjecteur, ainsi que le collecteur d'alimentation l , sont reliés par les robinets e , e' , à la conduite de vidange E' .

La grille est desservie par deux portes de chargement. La position transversale des faisceaux permet d'augmenter un peu leur longueur, qui n'est plus limitée par le jet de pelle. Par contre, l'emplacement nécessaire pour la pose des tubes et leur nettoyage, est plus grand que dans les systèmes Belleville, de Næyer, etc, puisque l'on n'utilise pas à cet effet l'espace réservé pour le chargement.

Aux avantages ordinairement réalisés par les générateurs uniquement composés de tubes (sécurité aux pressions élevées, facilité, de transport, d'installation et d'entretien) le système Schimdt joint celui de faire servir la chaleur perdue des gaz au chauffage préalable de l'eau d'alimentation. On peut craindre que les tubes les plus froids ne soient dans certains cas rapidement corrodés par les gaz; même en tenant compte des frais occasionnés par leur remplacement, l'addition d'un réchauffeur donnera lieu à une notable économie. La mise en pression n'en devient que plus prompte, l'eau arrivant déjà chaude dans le vaporisateur. Le volume d'eau emmagasiné est beaucoup plus grand que dans les systèmes cités précédemment. De ce fait, la production de vapeur est un peu moins variable avec l'état de la grille; pendant les périodes de grande activité, l'eau s'échauffe davantage dans le réchauffeur, et sa vaporisation ultérieure devient plus facile. Mais le niveau n'en est pas plus constant, et c'est surtout pour remédier à cette instabilité, que M. Schmidt a disposé une vaste réserve d'eau au-dessus du massif. Malheureusement, la suppression de tout circuit de surchauffe ne permet plus de compter sur le même degré de sécheresse de la vapeur.

Une chaudière Schmidt ancien modèle, fournissait la vapeur aux machines de l'exposition industrielle de 1879, à Berlin. Cet appareil, de dimensions plus faibles que celui que nous décrivons (74 m.q. de surface de chauffe au lieu de 150), paraît avoir donné d'excellents résultats. Dans

les expériences exécutées par le professeur E. Brauer, on a obtenu, par heure, plus de mille litres de vapeur surchauffée, à raison de 8 kil. environ par kilogramme de combustible (charbon ordinaire de Silésie, laissant 4,5 0/0 de cendres et escarbilles). Pendant ces essais, qui ont duré trois jours, la pression dans le réchauffeur dépassait 14 et même 15 kil.; elle était moins élevée dans le vaporisateur, le circuit formé par les deux groupes n'étant pas fermé par un réservoir, comme dans le type actuel. Nous rappellerons que c'est surtout aux très hautes pressions, que les systèmes à circulation d'eau exclusivement tubulaire fonctionnent avantageusement.



II

GÉNÉRATEURS MI-FIXES ET LOCOMOBILES

GÉNÉRATEURS A FOYER INTÉRIEUR HORIZONTAL

Depuis la création du système tubulaire, deux principaux perfectionnements ont été apportés à la construction des chaudières de petit volume : le *retour de flamme* par les tubes, ce qui diminue encore la longueur de l'appareil, tout en conservant au foyer des dimensions convenables, et l'*amovibilité* de la partie intérieure, qu'il importe de visiter et d'entretenir en bon état. Ces dispositions, que l'on retrouve plus ou moins dans tous les systèmes qu'il nous reste à décrire, ont été imaginées depuis longtemps, comme nous l'avons dit, par M. Chevalier et MM. Pérignon, Thomas et Laurens.

A l'Exposition, elles étaient réalisées, notamment, sur le générateur de la machine mi-fixe exposée par la maison Chevalier-Grenier, et qui actionnait une partie des transmissions de l'annexe de l'Avenue de La Bourdonnaye. Dans ce générateur, de 35 m.q. de surface de chauffe, le foyer se prolonge jusqu'au fond d'arrière de la calandre, à laquelle il est boulonné aux deux bouts; l'amovibilité est donc obtenue par deux joints. Nous avons déjà fait remarquer que ce mode d'attache, avantageux pour la visite et le remplacement des tubes (pour atteindre leur ex-

14

trémité la plus exposée, il suffit d'ouvrir une porte sur la plaque du fond), était moins favorable que le joint unique, au point de vue des dilatations.

D'autres constructeurs (MM. Weyher et Richemond, MM. Crespin et Marteau, etc.) ont imité la disposition Thomas et Laurens; nous avons déjà étudié (pl. V) le type très perfectionné de la *Société centrale de construction* de Pantin.

Le *système Demenge* consiste en une chaudière Thomas et Laurens inclinée vers l'arrière, de manière que les tubes de retour de flamme émergent dans la vapeur, du côté du foyer. Cette modification a le mérite d'être d'une grande simplicité; mais elle a le grave inconvénient (sans parler de l'oxydation des tubes, des fuites aux attaches, etc.) de diminuer la hauteur d'eau précisément au-dessus de la région du coup de feu.

L'auteur d'une publication récente sur les appareils à vapeur croit pouvoir affirmer, à propos du système Demenge, que la transformation d'une portion de la surface de chauffe tubulaire en surface de surchauffe donne lieu à une économie de combustible. Il est bien vrai, comme il le fait observer, que l'eau vésiculaire exige moins de calories pour se vaporiser que l'eau plus froide de la chaudière; seulement, ce n'est pas la quantité de chaleur théoriquement nécessaire pour la vaporisation de cette eau, mais celle que l'on peut pratiquement lui fournir, qui est ici à considérer. En faisant émerger l'extrémité du faisceau, l'état de la vapeur sera peut-être amélioré, mais la surface ainsi découverte devenant beaucoup moins efficace au point de vue de la transmission de la température, les gaz partiront plus chauds à la cheminée, et le rendement se trouvera en définitive un peu abaissé.

Générateur à tubes bouilleurs verticaux de MM. Fouché et de Laharpe, à Paris.

Le générateur exposé par l'ancienne maison Fouché aîné, aujourd'hui dirigée par MM. Fouché et de Laharpe, fournissait la vapeur à une partie de l'annexe de l'avenue de La Bourdonnaye. Dans ce système, bien étudié et qui commence à se répandre, la circulation des gaz est partout intérieure, mais c'est l'eau qui parcourt le faisceau tubulaire.

L'appareil, représenté à la planche XVII (fig. 4 à 7), est formé d'un corps vertical *A*, sur lequel vient s'attacher, vers la moitié de sa hauteur, un corps horizontal *B*, renfermant le foyer. Ce dernier vient déboucher dans une chambre *C*, concentrique au cylindre vertical, et qui s'étend depuis le ciel du foyer jusqu'à un conduit inférieur *C'*, allant à la cheminée. Les deux fonds de cette chambre servent de plaques tubulaires à un faisceau vertical qui fait communiquer les deux extrémités du corps *A*. Dans celui-ci, le niveau s'élève à une hauteur suffisante au-dessus des tubes; le reste de la capacité forme réservoir de vapeur.

On voit immédiatement les avantages qui résultent de cette disposition. Les produits de la combustion viennent frapper perpendiculairement le faisceau, circonstance favorable à leur brassage et à leur prompt refroidissement. Le courant devient ensuite descendant, et il suffit d'alimenter le cylindre par la partie inférieure en *e*, pour que la circulation de l'eau soit méthodique. Cette circulation, très active dans les tubes verticaux, augmente leur efficacité comme surface de chauffe, et les protège contre les diverses actions corrosives, extérieures ou intérieures. A travers les interstices d'un faisceau horizontal, les mouvements de l'eau et le dégagement de la vapeur s'opèrent difficilement, et c'est là une des principales causes des incrustations. Ici la verticalité des tubes offre aux bulles un trajet minimum et prévient, même pendant les arrêts, l'adhérence des matières en suspension dans l'eau.

L'appel énergique par le faisceau détermine un courant descendant qui se ralentit en arrivant sous la chambre C; les boues qui s'accumuleront dans cette région pourront être évacuées par le tuyau de vidange E' . La pomme d'arrosoir qui termine ce tuyau empêche l'aspiration de se concentrer en cône très aigu au-dessus de l'orifice e' . Quant aux dépôts adhérents qui se formeront à la longue, même à l'intérieur des tubes, on les grattera aisément après avoir démonté les deux fonds du corps vertical. Ces pièces sont boulonnées sur cornière dressée, avec interposition d'une rondelle de caoutchouc. Des tampons de visite ou de lavage sont disposés sur les deux couvercles, ainsi qu'à la partie inférieure du cylindre horizontal.

L'enlèvement des suies s'opère, en marche, à l'aide d'un jet de vapeur lancé, à travers le faisceau, par le regard O , et par le tampon F' qui ferme le cendrier sous l'autel. La pièce de fonte qui supporte cet autel et l'extrémité de la grille, repose simplement sur les parois du foyer; elle est maintenue par deux boulons g , attachés à la sole.

La grille est horizontale; en l'attachant plus bas, et en l'inclinant vers l'arrière, on augmenterait un peu l'espace assez réservé à l'inflammation des gaz.

Tout foyer intérieur doit à la fois offrir une grande résistance à l'écrasement, et n'avoir qu'une faible épaisseur, pour que la face exposée au feu ne prenne pas une trop haute température. MM. Fouché et de Laharpe ont satisfait à cette double condition en construisant leur foyer en acier doux, de 0^m, 007 d'épaisseur. La construction de l'appareil est, du reste, très soignée. Les joints longitudinaux sont double-rivés. La partie du cylindre vertical sur laquelle vient s'attacher le corps horizontal a reçu une épaisseur plus forte (0^m, 0105 au lieu de 0,009) pour compenser l'affaiblissement produit par la découpe; la collerette qui joint les deux cylindres est également en tôle de 0^m, 0105. La plaque inférieure de la chambre C a sa rivure tournée vers l'extérieur, ce qui évite de faire descendre inutilement les tubes au-dessous de l'orifice de sortie des gaz.

L'appareil, soutenu seulement par trois appuis, est complètement dégagé, toutes les rivures extérieures bien accessibles. La partie intérieure est naturellement plus difficile à surveiller, et la moindre fuite à l'attache d'un tube exige un arrêt complet et un démontage. Comme garanties d'entretien, remarquons que les extrémités du faisceau sont à l'abri du contact des gaz; la rapidité de la circulation diminue la dilatation des tubes; enfin l'ensemble du foyer et de la chambre est susceptible d'une certaine élasticité. Les mouvements occasionnés par les dilatations fatigueront surtout l'attache emboutie du foyer; aussi doit-on employer de la tôle d'acier parfaitement homogène, très douce, et la travailler avec précaution.

La chaudière exposée, timbrée à 7 kil., réalisait, pour un volume d'eau de moins de 900 litres, une surface de chauffe de près de 20 mètres carrés. Les 3/5 de cette surface étaient constitués par 79 tubes, de 0^m, 040 de diamètre, dans lesquels la circulation d'eau activait l'absorption de la chaleur. Toutes ces conditions, très avantageuses au point de vue de la vaporisation, du rendement et de la mise en pression rapide, ont pour principal inconvénient d'augmenter le primage. Les constructeurs ont reconnu la nécessité d'installer, sur le passage des gaz, un sécheur de vapeur.

Cet organe est formé par cinq tubes en *U* groupés, parallèlement au faisceau, dans la région de la chambre C opposée au foyer. La partie courbée de ces tubes descend jusqu'au conduit de départ; leurs extrémités viennent déboucher à travers une plaque circulaire, qui repose sur un petit cuissard vertical, riveté sur le fond supérieur de la chambre. Par-dessus, est boulonné un couvercle légèrement bombé, surmonté de deux tubulures; une cloison perpendiculaire, venue de fonte à l'intérieur de ce couvercle, est disposée de manière à s'insinuer, une fois en place, entre les orifices du faisceau W . (fig 7.), et séparer l'un de l'autre ceux qui appartiennent au même tube. Les deux tubulures du

couvercle se trouvant de part et d'autre de la cloison, on voit que si la vapeur est introduite par l'une d'elles, ce n'est qu'après avoir circulé dans les tubes qu'elle pourra sortir par l'autre. Cette dernière est reliée à la valve de prise V. A l'intérieur, la vapeur est puisée, vers le haut du réservoir, au moyen d'un tube circulaire w, fermé à son extrémité, et dont la partie supérieure est découpée par des traits de scie, distants de 0^m.025, et qui occupent en hauteur le quart du diamètre. Les produits de la combustion ne peuvent atteindre le sécheur qu'après avoir été suffisamment refroidis par les tubes bouilleurs.

La surface de surchauffe est environ le 1/12 de celle de chauffe; cette dernière égale 33 fois l'étendue de la grille; enfin celle-ci est dans le rapport de 100 à 23 avec la section du conduit de départ des fumées.

Dans ce conduit est intercalée une boîte démontable renfermant un registre à papillon. Le manomètre et les deux soupapes sont portés par la même tubulure.

Le générateur Fouché et de Laharpe est peu encombrant, la capacité la plus grande étant verticale. La hauteur du foyer au-dessus du sol est déterminée par la commodité du chargement; d'autre part, la chambre intérieure doit se prolonger assez bas au-dessous du foyer, pour que la chaleur des gaz soit bien utilisée. Il est donc nécessaire de faire plonger le corps vertical dans une fosse, que l'on recouvrira d'un plancher mobile, de manière à réduire encore l'emplacement occupé.

L'appareil est entouré d'une enveloppe en laiton; cette garniture est un peu chère, mais assez efficace. On sait que le pouvoir émissif des métaux polis est très faible, comme aussi leur pouvoir absorbant. Les feuilles de laiton devront être entretenues aussi propres que possible sur les deux faces.

CHAUDIÈRES POUR EMBARCATIONS.

La nécessité d'un encombrement minimum s'impose, plus encore qu'aux chaudières de locomotives, aux générateurs destinés à la navigation. De là les formes de plus en plus ramassées qui les caractérisent. D'autres avantages sont également à rechercher dans ces appareils: la légèreté, la mise en pression rapide, un rendement élevé, qui économise non seulement le prix du combustible, mais aussi l'emplacement et le poids à transporter, etc. Parmi les types les plus récents, nous prendrons deux exemples: l'un à circulation d'eau à l'intérieur des tubes, l'autre à l'extérieur.

Générateur de M. Penelle.

Les figures 6 et 7 de la planche XXIV représentent la chaudière pour canot imaginée par M. Penelle, ingénieur de la marine. Elle se compose d'un faisceau de tubes bouilleurs, sur les plaques tubulaires desquelles viennent se boulonner deux calottes *A*, assez profondes, qui constituent les seuls réservoirs d'eau.

Le faisceau comprend un tube *B* de fort diamètre, dans lequel s'établit le niveau, et quarante petits tubes *b*, distribués au-dessous du premier. Aux deux plaques est attachée l'enveloppe du foyer, garnie intérieurement de briques réfractaires. Cette enveloppe se prolonge, sur les côtés de l'appareil, de manière à renfermer le faisceau dans une chambre *C*, où les gaz se répandent avant de s'échapper par la cheminée centrale *C'*. A droite et à gauche de celle-ci sont installés deux réservoirs de vapeur *D*, reliés chacun au bouilleur *B*, par un cuissard de 0^m,100 de diamètre. Le faisceau est légèrement incliné vers l'avant, ce qui détermine le sens de la circulation de l'eau dans les tubes; le dégagement de la vapeur s'opère ainsi plus régulièrement.

Des tampons autoclaves sont disposés sur les calottes *A* et sur les réservoirs de vapeur. Des regards ménagés dans l'enveloppe permettent de nettoyer l'extérieur du faisceau. Les trois premiers rangs de tubes, directement frappés par les gaz, sont en fer, les autres en laiton. Les boulons d'attache des calottes sont en acier; ils ont 0^m,024 d'épaisseur.

La grille, penchée vers l'arrière, a une surface de 0^{mq}, 27. La surface de chauffe est de 6^{mq},273, soit moins de 25 fois celle de la grille. La chaudière contient environ 250 litres d'eau; le poids total en marche est inférieur à 1600 kilogrammes.

L'inflammation des gaz a lieu en de bonnes conditions; ils rencontrent les tubes perpendiculaires, et sont parfaitement divisés par le faisceau. Cependant l'étendue de la surface de chauffe ne paraît pas suffisante pour les refroidir convenablement, par suite de leur tendance à s'élever dans la cheminée.

Voici les résultats obtenus par la commission chargée d'expérimenter la chaudière de M. Penelle:

Charbon brûlé par heure et par mètre carré de surface de grille (briques de Portes Sénéchas).	276 ^k
Eau vaporisée par heure.	467 ^l
Eau vaporisée par kilogramme de charbon.	6,28

Le tirage était très énergique; malgré l'activité de la vaporisation, il ne paraît pas y avoir un grand entraînement d'eau; cela tient sans doute à la faible hauteur parcourue par les bulles, et à la régularité de leur dégagement. La mise en pression a été obtenue en 37 minutes, sans injection de vapeur à la cheminée, et avec une consommation de 14 kilogrammes de briquettes. Cette pression a pu être facilement maintenue à 6^k, 5.

Dans un essai de démontage, quatre ouvriers ont déboulonné les deux calottes en 1 heure 1/2. Deux hommes ont ensuite démonté un tube en 5 minutes, et l'ont remplacé en 18 (mandrinage, pose des bagues et rivure).

En résumé, la chaudière Penelle est un appareil d'une construction simple et bien appropriée aux conditions dans lesquelles elle doit fonctionner. Sa conduite et son entretien sont assez

faciles; elle offre enfin une certaine sécurité, puisque les parois sont toutes pressées intérieurement, que les surfaces les plus exposées sont tubulaires, et que la dilatation des tubes agit sur les plaques en sens inverse de la pression de la vapeur.

Générateur de M. Duchesne.

La chaudière Duchesne, beaucoup plus puissante que la précédente, avait été exposée en 1878, par MM. Imbert frères, constructeurs à Saint-Chamond (Loire). Elle présente cette particularité que la surface de grille y est répartie entre trois petits foyers intérieurs, groupés à la partie inférieure d'une calandre de grand diamètre et très courte. Les gaz se rendent d'abord dans une chambre commune C, puis reviennent à travers un faisceau de 81 tubes, jusqu'au carneau C' dans lequel débouche la cheminée.

Les deux foyers latéraux n'ont que la moitié de la longueur de celui du milieu; chacun d'eux se prolonge par un petit faisceau de 14 tubes, que les gaz doivent parcourir avant d'atteindre la chambre C. Le niveau doit toujours s'elever au-dessus du faisceau de retour; trois tubes sécheurs traversent la chambre de vapeur. Un dôme d'une assez grande capacité surmonte l'appareil; ce dôme ne communique avec la calandre que par une série de petites ouvertures, disposition qui a l'avantage de moins affaiblir la surface cylindrique.

La plaque antérieure, portant les foyers et le faisceau, est simplement boulonnée sur la bride d'attache. A l'arrière, le vaporisateur est soutenu et renforcé par quatre rangées de tirants *a*, boulonnés, par l'intermédiaire de ferrures d'angle, d'une part du fond de la calandre, de l'autre à celui de la chambre C. Le ciel un peu élargi de cette chambre est raidi par quelques cornières *a'*.

Le carneau en tôle C' est muni d'une porte pour le nettoyage des tubes de fumée. Pour visiter l'intérieur de l'appareil, il suffit de déboulonner les tirants *a* et le joint de face, puis de sortir le vaporisateur.

La forme verticalement allongée des foyers réalise une plus grande hauteur au-dessous du ciel; mais deux foyers circulaires, offrant la même surface totale de grille, eussent opposé plus de résistance à l'écrasement. Le principal avantage résultant de l'emploi de trois foyers, est l'augmentation de la partie la plus efficace de la surface de chauffe. Les gaz, en arrivant dans la chambre C, sont aussi mieux distribués dans le faisceau de retour.

La surface totale de grille est de 1^{mq}; celle de chauffe de 32^{mq}. Le volume moyen de l'eau est de 2^{mc},760. Les tubes ont 0^m,060 de diamètre.

La circulation exclusivement intérieure des gaz, leur extrême division dans le faisceau, la forme compacte de l'appareil, offrant une surface restreinte à la déperdition extérieure, toutes ces conditions correspondent à une excellente utilisation de la chaleur dégagée. Malheureusement, l'extinction trop brusque des flammes dans les tubes placés à la suite des deux foyers latéraux, donnera lieu à une perte représentée par un dépôt abondant de suie, et le départ de gaz combustibles à la cheminée.

Avec des eaux très impures, le nettoyage d'un faisceau tubulaire, même amovible, est toujours une opération difficile. Il est à craindre ici que la présence des tubes gênant la circulation de l'eau au-dessus du foyer central, ne favorise la formation des dépôts dans la région du coup de feu. Le rendement très élevé au début, ne tardera pas à s'abaisser.

Au point de vue des déformations, il faut reconnaître que dans le système Duchesne, la dilatation du vaporisateur n'est pas libre; toute l'étendue de la surface de chauffe est pressée extérieurement, et les parois soumises à une pression intérieure ont un diamètre de 1^m,800.

Le type analogue exposé par M. de Luca, à deux foyers cylindriques et retour par faisceau incliné, est plus simple, sans paraître moins satisfaisant.

GÉNÉRATEURS INEXPLOSIBLES

La question de la sécurité des générateurs est d'un intérêt général, mais elle prend une importance encore plus grave lorsqu'il s'agit de chaudières marines, dont l'explosion peut entraîner la perte du navire et de tout l'équipage. Les désastres du *Guadayra*, du *Thunderer* et de *la Revanche*, sont présents à toutes les mémoires.

L'application de générateurs uniquement composés de tubes est d'autant mieux indiquée pour la navigation et la petite industrie, que ces appareils sont relativement légers, occupent peu de place et, par leur division en éléments distincts, offrent de grandes facilités pour le transport, l'installation et l'entretien. En raison du faible volume d'eau, la pression est facile à établir, et à faire varier; on peut, au besoin, l'élever beaucoup sans grand danger, ou bien, à tension égale, augmenter la production de vapeur. Des dispositions spéciales devront être prises pour diminuer la proportion de l'eau entraînée, proportion d'autant plus grande que la vaporisation est concentrée dans un plus petit espace.

Système Belleville.

Nous avons décrit le système de MM. Belleville et C^{ie} dans tous ses détails (pl. V et VI). Nous donnerons ici les proportions principales du générateur type marin, que ces constructeurs avaient exposé en 1878.

Surface de grille	2 ^{mq} ,58
Surface de chauffe (16 tubes de 2 ^m de longueur, 0 ^m ,100 de diamètre extérieur et 0 ^m ,005 d'épaisseur)	62 ^{mq} ,48
Rapport à la surface de grille	24, 3
Surface de surchauffe (11 tubes de 1 ^m ,700 de longueur)	6 ^{mq} ,12
Emplacement	4 ^{mq} ,31
Surface de chauffe par mètre carré d'emplacement	14 ^{mq} ,5
Volume total	14 ^{mc}
Poids total, eau comprise	9000 ^k

L'appareil peut vaporiser plus de 1000 litres d'eau à l'heure; il est muni d'une enveloppe en tôle et briques, et des accessoires décrits pour le type fixe.

MM. Belleville et Cie exposaient encore: 1^o Un générateur pour embarcations (modèle des canots de 10^m de la marine française) à tirage artificiel, au moyen de l'échappement.

Surface de grille	0 ^{mq} ,42
Surface de chauffe	8 ^{mq} ,90
Emplacement	0 ^{mq} ,85
Volume total	1 ^{mc} ,350
Poids total (eau comprise)	1600 ^k

2^o Un générateur locomobile, à tirage naturel ou artificiel.

Surface de grille	0 ^{mq} ,65
Surface de chauffe (12 tubes)	13 ^{mq} ,35
Emplacement	1 ^{mq} ,17
Volume total	2 ^{mc}
Poids total, eau comprise	2300 ^k

Cet appareil peut vaporiser environ 240 litres par heure.

Signalons enfin une heureuse application du système à la suite de fours à puddler, dans les établissements de la Compagnie des fonderies et forges de Terre-Noire, à Bességes. On sait combien est désastreuse l'explosion d'une chaudière verticale installée dans une cheminée, la maçonnerie se brisant en fragments qui mitraillent, en quelque sorte, toute l'usine.

Générateur de M. E.-A. Bourry, à Paris.

Le générateur *polytubulaire* exposé par M. E. A. Bourry (pl. XIX, fig. 5 à 8) se compose de deux faisceaux tubulaires, se pénétrant horizontalement à angle droit. Chaque couche de tubes *b* aboutit à un collecteur perpendiculaire *B*, qui vient déboucher dans un récipient vertical *A*₁, surmonté d'un réservoir sphérique *A*. Ainsi, l'appareil figure un prisme droit à base carrée; aux quatre angles sont les récipients *A'*; les parois sont formées par la superposition des collecteurs *B*, qui sont jointifs; enfin les tubes bouilleurs occupent la partie intérieure, sauf l'espace réservé au foyer. Les gaz s'élèvent, à travers le faisceau, jusqu'à une cheminée centrale en tôle. Le niveau doit s'établir un peu au-dessus des tubes; les sphères *A* sont mises en communication de manière à constituer un réservoir unique de vapeur.

Les tubes *b*, au nombre de 96, sont en fer étiré; l'une de leurs extrémités est baguée (fig. 8), l'autre pénètre simplement dans un orifice bien dressé. Cette disposition a pour objet de laisser le tube se dilater librement; on peut lui reprocher de favoriser des fuites pouvant devenir une source de corrosion. Les collecteurs *B*, en fonte, sont également fixés par un seul bout, à l'aide d'une bague vissée que l'on peut serrer après avoir enlevé le bouchon *a'*, placé en regard sur le récipient vertical. L'autre extrémité du collecteur est bouchée; entre elle et ce récipient un certain jeu est laissé à la dilatation. Dans une même assise, les deux collecteurs sont fixés l'un à droite, l'autre à gauche, afin d'assurer la circulation de l'eau dans tous les tubes; les attaches des collecteurs constituant une même paroi sont alternées d'une assise à l'autre. Les quatre récipients communiquent directement entre eux à la partie inférieure et par les sphères du haut, reliées à l'aide des tubulures *a*. A ces sphères, venues de fonte avec les récipients, sont attachés les divers accessoires.

L'alimentation se fait par le bas; de minces cloisons métalliques déterminent dans les collecteurs verticaux une circulation ascendante dans la région intérieure, descendante contre les parois tournées vers le dehors (fig. 7). L'espace réservé au courant descendant est divisé en deux segments inégaux par une lame inclinée, qui s'élève un peu au-dessous du niveau moyen. On voit que la section de passage de l'eau est croissante sur un côté de la lame, et décroissante sur l'autre. Ces lames sont disposées de manière que dans chaque assise, l'orifice ouvert de l'un des collecteurs *B* débouche dans un grand segment, tandis que l'orifice diagonalement opposé de l'autre collecteur débouche dans un petit segment. Toutes choses égales d'ailleurs, lorsque l'eau se dilatera par l'élévation de la température dans les tubes, elle rencontrera une résistance au mouvement moindre du côté du grand segment, un appel se produira par l'autre orifice, et le sens de la circulation dans le faisceau se trouvera déterminé. Les lames inclinées empêcheront les bulles de vapeur dégagées par une assise d'être appelées dans une assise supérieure.

Nous avons dit que le courant se dirigerait vers le segment le plus grand, toutes choses égales d'ailleurs; il suffirait en effet que les conditions de température et de pression ne fussent pas identiques dans les récipients verticaux (par suite, par exemple, d'un chargement inégal de la grille, ou de l'ouverture d'une soupape) pour que la circulation fût renversée.

Les récipients se prolongent au-dessous de la grille; le courant descendant le long des surfaces empêche l'adhérence des dépôts, qui se rassemblent sur le fond, d'où ils sont évacués par les robinets *e*. Un bouchon de nettoyage est disposé sur les collecteurs, en regard de chaque extrémité d'un tube. L'enlèvement des cendres et des suies déposées extérieurement peut s'opérer même en marche, en manœuvrant les robinets *W* (fig. 6) qui, par l'intermédiaire d'un tuyau plongeant dans chacun des récipients, commandent les orifices d'injection de vapeur *w* (fig. 7) distribués dans les intervalles des assises.

Surface de grille	0 ^{mq} ,08
Surface de chauffe	1 ^{mq} ,62
Rapport à la première	20, 25
Volume d'eau	0 ^{mc} ,032
Volume de vapeur	0 ^{mc} ,024
Hauteur de l'appareil	1 ^m , 50
Emplacement	0 ^{mq} ,25
Rapport à la surface de chauffe	1:6,5
Poids de l'appareil	400 kil.

Nous avons eu l'occasion de voir fonctionner le générateur Bourry dans les ateliers de MM. Flaud et Cohendet; il vaporisait environ 40 litres d'eau à l'heure, et donnait un rendement très élevé (de 8 à 9 kil. à la pression de 5 atm.) Ce rendement s'abaissait dès qu'on poussait le feu, les gaz partant trop chauds à la cheminée. Pour apprécier les chiffres obtenus, il eût fallu tenir compte de l'eau entraînée en proportion d'autant plus considérable que la vapeur ne rencontrait aucune surface de surchauffe. Des projections se produisaient dès que la vaporisation devenait trop active.

La section carrée de l'appareil réalise un minimum d'emplacement et de surface de déperdition de chaleur; mais les tubes étant très courts, le nombre des joints et des bouchons de visite à surveiller devient encore plus grand. On doit craindre pour la conservation des parois en fonte directement exposées au feu, et qui en certains points, par exemple à l'extrémité fermée des collecteurs, offrent des surépaisseurs non rafraîchies par la circulation.

Générateur de MM. Collet et C^{ie}, à Paris.

Les figures 1 à 4 de la planche XXIV se rapportent à une installation fixe du *vaporisateur* Collet; il suffit de n'entourer l'appareil que d'une simple enveloppe en tôle, pour le rendre transportable.

Ce système, récompensé à l'Exposition de 1879 (Palais de l'industrie), est caractérisé par un faisceau presque horizontal de tubes à circulation rapide, analogues aux tubes Field. Chaque colonne de tubes *b* est desservie par un collecteur *L*, relié à la partie supérieure à un réservoir d'eau et de vapeur.

La figure 3 indique le mode d'attache de ces diverses pièces. Les tubes sont emmanchés à joint conique sur la face aplatie (fig. 4) des collecteurs en fonte; ils sont serrés par un boulon central *b'*, vissé aux deux bouts. La partie inférieure du réservoir est formée par une plaque tubulaire dans laquelle pénètre l'extrémité, de section circulaire, de chaque collecteur. Le serrage de la portée conique, au moyen d'une bague filetée s'appuyant sur la plaque, doit devenir, à la longue, assez difficile à exécuter. Les collecteurs sont disposés, alternativement, sur deux rangées, ce qui permet de rapprocher les tubes davantage. Ces tubes viennent s'appliquer, par leur extrémité libre, sur des cornières transversales *a*, boulonnées à la façade; de ce côté, l'écrou du boulon central est à l'abri du feu. A l'autre bout, les pas de vis sont moins favorablement placés, au milieu des gaz qui peuvent donner lieu à des corrosions. Le boulon est vissé, non sur le collecteur, où il porte par un épaulement conique, mais sur un écrou extérieur, facile à changer. C'est le joint entre cette pièce et la paroi en fonte qui doit être bien étanche, car le joint conique du boulon tend à se desserrer en marche, sous l'influence de la pression intérieure, et de la dilatation du tube, plus grande que celle du boulon. Il serait peut-être aussi simple de supprimer les pas de vis à l'arrière, de renverser la conicité du boulon, ou de la supprimer, en donnant à ce boulon une tête convenablement dressée; on l'enfilerait alors en sens contraire, et l'on n'aurait à surveiller que l'écrou antérieur, qu'on peut atteindre même en marche, par la porte *P*.

Dans le calcul de la section du boulon *b'*, on doit tenir compte de la tension due à la dilatation du tube, en contact avec les flammes; pour prévenir les dislocations, le métal de ce boulon devrait présenter à la fois une grande résistance et une certaine élasticité à l'allongement.

Le générateur Collet est particulièrement bien étudié au point de vue de la circulation de l'eau et de la vapeur. Le faisceau tubulaire est légèrement incliné à l'avant. Les divers tubes internes de circulation viennent déboucher, non pas librement dans le collecteur correspondant, mais dans un conduit en tôle *L'*, suspendu au milieu de chaque collecteur, et qui s'élève à l'intérieur du réservoir jusqu'à une petite distance du niveau. Ainsi dans aucune partie de l'appareil, les courants ascendants le long des surfaces, et descendants au milieu, ne peuvent se rencontrer. L'eau arrivant par les ouvertures ménagées à l'extrémité inférieure du tube interne, se vaporise en partie au contact des parois exposées aux gaz, remonte par l'espace annulaire jusqu'au réservoir, où elle se décharge de ses bulles, pour redescendre par les conduits *L'*.

La circulation sera beaucoup plus rapide et plus efficace qu'elle ne peut l'être dans un simple serpentin. Nous avons signalé le même avantage dans le générateur de M. de Naeyer, mais avec cet inconvénient que la vapeur risquait d'être indéfiniment entraînée dans le courant. Ici rien de tel n'est à craindre, et ces bulles s'élèvent par le plus court chemin au niveau, sans subir l'appel d'aucun

orifice. Pour prévenir tout appel de ce genre, les conduits L^1 débouchent à travers une caisse assez large et très plate, qui sert en même temps à les supporter. Les boues apportées à la surface se déposent en partie dans cette caisse, en partie sur le fond des collecteurs, où l'on pourrait établir des robinets de déjection.

Toutes ces dispositions sont excellentes au point de vue de la protection des tubes et de l'absorption de la chaleur; d'après les constructeurs, la vaporisation dépasserait 30 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe. La séparation des courants diminue la tendance au primage, que provoque la rapidité même de la circulation. Les variations du niveau et de la pression seront d'autant moins marquées que le réservoir aura des dimensions plus grandes. Sa position à l'arrière du massif, lorsqu'il s'agit d'un appareil un peu important, a l'inconvénient de rendre difficile pour le chauffeur l'observation du niveau. Nous ne reviendrons pas sur les avantages que présentent les générateurs dits inexplosibles, pour le transport, l'installation, la mise en pression et l'entretien. Nous observerons seulement que dans le système Collet, le faisceau tubulaire est facile à nettoyer extérieurement, et que les éléments vaporisateurs, composés d'un petit nombre de pièces essentielles, sont très rapidement démontables.

CHAUDIÈRES VERTICALES

Occuper très peu de place horizontalement, afin d'encombrer le moins possible l'atelier, être faciles à installer et à déplacer, tels sont les avantages que l'on recherche surtout dans les générateurs qu'il nous reste à décrire. Le prix d'achat préoccupe aussi le petit industriel, et trop souvent l'économie sur le capital d'établissement se trouve ensuite chèrement payée par un rendement inférieur et des frais continuels de réparation.

Dans ces dernières années, les demandes croissantes de l'industrie ont fait surgir un grand nombre de types, mais les éléments sur la combinaison desquels s'exerce l'imagination des inventeurs sont toujours les mêmes : foyer et carreaux intérieurs, faisceaux tubulaires, tubes bouilleurs, tubes pendants, etc. Le problème est toujours de retenir longtemps les gaz au contact des parois mouillées, et la solution doit être poursuivie, en quelque sorte, entre deux écueils : si l'appareil est d'une construction simple, le départ se fera trop vite; s'il est compliqué, il coûtera cher, et donnera lieu à des réparations fréquentes. La tendance actuelle est d'accepter une certaine complication, sauf à assurer, par des dispositions convenables, la facilité des visites et des nettoyages.

Générateur de MM. Cochrane et C^{ie}, à Birkenhead (Angleterre).

Un premier perfectionnement apporté à l'ancienne chaudière tubulaire verticale type Zambeaux, consiste à installer le faisceau, non plus verticalement à la suite du foyer, mais horizontalement. Cette disposition est représentée à la planche XXV, figures 1, 2 et 3. Le conduit *e* amène les gaz du foyer dans une chambre latérale *C*; ils s'engagent ensuite dans les tubes, et traversent la chaudière pour s'échapper, par la chambre *C'*, dans la cheminée *C²*. Les deux chambres sont munies de portes de nettoyage, et celle rencontrée la première par le courant gazeux est protégée par un garnissage réfractaire *H*. Le corps cylindrique, affaibli par ces ouvertures, est consolidé par des armatures *a* attachées au fond supérieur.

Le fond inférieur est constitué par la surface hémisphérique du foyer. Cette forme n'offre, pratiquement, d'autre avantage que de favoriser l'échaulement de l'eau et le dégagement des bulles. La grille, il est vrai, peut recevoir un diamètre presque égal à celui de la chaudière, mais la capacité de la chambre de combustion n'est pas développée en proportion. D'autre part, le faisceau est très court, et la section du carreau de sortie du foyer n'est que la treizième partie de la surface de la grille. L'appareil est donc disposé pour utiliser plutôt le rayonnement du combustible que la chaleur emportée par les gaz; si la couche de charbon n'est pas maintenue peu épaisse, ces gaz partiront à la cheminée à la fois trop chauds et mal brûlés.

La surface de la grille est composée d'un carré inscrit, comportant des barreaux identiques, et de quatre segments égaux. Cette disposition réduit le nombre des modèles nécessaires à la fonderie, et celui des barreaux de rechange. Le foyer, directement riveté à la calandre, est une pièce de forge assez coûteuse; quelques-unes de ses rivures sont très exposées.

La chambre de vapeur est spacieuse; en raison de la température élevée des gaz à leur sortie du faisceau, il sera prudent de ne pas laisser le niveau s'abaisser jusqu'au pied de la cheminée. Le ramonage des tubes peut être exécuté aussi fréquemment qu'on le désire. Des tampons autoclaves sont placés au sommet du cylindre et dans le voisinage du foyer. Il sera difficile, sans un démontage complet, de gratter la surface extérieure du faisceau.

Dans un système analogue étudié par M. C. Deruyer, et construit avec beaucoup de soin par M. P. Villette, à Lille, la chaudière, fermée aux deux bouts, est traversée par un foyer intérieur horizontal; les deux chambres *C* et *C'* sont complètement extérieures. Le faisceau est ainsi plus long, mais le foyer est moins efficace, et la déperdition par la chambre *C* plus considérable; en définitive, la chaleur ne doit pas être mieux absorbée que dans l'appareil anglais. La construction est plus simple et moins coûteuse, l'emplacement exigé un peu plus grand.

Générateur Polinard, de MM. Carnaire et Montellier, à Saint-Chamond (Loire).

Dans le système Polinard (pl. XXV, fig. 4 et 5) les gaz subissent deux retours de flamme, avant de s'échapper par le fond supérieur de la chaudière. Leur chaleur est mieux utilisée que dans les appareils précédents. Le foyer vertical n'est pas concentrique à la calandre, mais presque tangent intérieurement. Il se prolonge par un faisceau tubulaire assez court, aboutissant à une chambre *C*,

de plus grand diamètre, dont le fond supérieur, attaché par des boulons, doit toujours demeurer sous l'eau. Une autre série de tubes c^1 fait descendre les gaz jusqu'à la caisse en fonte qui sert de socle à l'appareil, et qu'une cloison transversale divise en deux compartiments, celui sous la grille faisant office de cendrier. Par un dernier faisceau, le courant traverse la chaudière dans toute sa hauteur, et passe de la boîte à fumée C^2 à la cheminée. Ce parcours sinueux réalise une surface de chauffe trop étendue pour que la partie découverte des derniers tubes puisse céder une grande chaleur à la vapeur qui l'enveloppe. La surface de grille est assez faible; si on a soin de charger modérément, de manière que les flammes ne viennent pas s'éteindre dans le premier faisceau, le rendement du générateur sera, croyons-nous, très élevé. Les deux retours de flamme, par le brassage qu'ils déterminent sur les filets gazeux, facilitent leur refroidissement; l'inclinaison des tubes c^1 , que l'on pourrait critiquer au point de vue de l'attache, favorise aussi l'échange des températures. On peut considérer comme libre la dilatation du vaporisateur.

Le nettoyage de la surface interne des tubes exige un arrêt et un démontage partiel. Toutefois, il faut remarquer que la position verticale de ces tubes préviendra l'accumulation des cendres et de la suie; il en sera de même sur la surface externe, pour les sels déposés par l'eau. Des dépôts difficiles à atteindre pourront s'incruster sur la plaque du foyer, c'est-à-dire dans la région du coup de feu, circonstance fâcheuse pour l'extrémité inférieure, déjà très exposée des premiers tubes. La vapeur formée autour de ces tubes se trouvera gênée dans son dégagement par la rencontre de la chambre C . L'installation de la cheminée au-dessus du corps cylindrique a l'avantage de réduire encore l'emplacement nécessaire.

Parmi les chaudières verticales à double retour de flamme exposées en 1878, nous citerons, dans la section des États-Unis, le générateur Baxter, construit par la *Colt's arms Company* (Hartford, Connecticut), et dans la section de la Grèce, le générateur Basiliades, dont la maison Farcot est devenue concessionnaire.

Ces appareils sont à foyer vertical et concentrique à la calandre; la chambre à laquelle il aboutit, est élargie de manière à permettre de disposer un rang également concentrique de tubes de retour. Dans le système Baxter, les gaz, pour revenir vers la partie supérieure passent entre la chaudière et son enveloppe, ce qui pourrait devenir dangereux, dans certains cas. Dans le système de M. Basiliades, le second retour se fait par des tubes, recourbés de manière à venir déboucher à travers une plaque, dans la cheminée centrale. Le foyer est conique, et la chambre qui le surmonte hémisphérique, formes très favorables au refroidissement rapide des gaz. Le rendement de ce générateur doit être supérieur à celui du type américain, mais sa construction est moins simple, et son entretien plus difficile.

Générateur de MM. Leleu et Clavier, à Paris.

Au lieu de faire passer les gaz à l'intérieur des tubes, on peut les faire circuler extérieurement. Le trajet utile de ces gaz se trouve ainsi déterminé avec moins de certitude, mais la circulation que prend l'eau dans les tubes augmente l'efficacité de la surface de chauffe, et améliore ses conditions d'entretien.

L'application la plus simple des tubes bouilleurs aux chaudières verticales, consiste à traverser le foyer par un certain nombre de ces tubes, suivant diverses directions, de manière à briser le courant gazeux avant son arrivée à la cheminée, ordinairement installée dans l'axe de

l'appareil. C'est la disposition, par exemple, des générateurs Hermann-Lachapelle, dans lesquels les tubes sont peu nombreux et de fort diamètre. Ces générateurs sont simples, très légers et peu coûteux, mais leur rendement ne saurait être bien considérable ; ils conviennent surtout pour de petites forces.

Dans le système représenté à la planche XXV, figures 6 et 7, que construit la maison Leleu et Clavier, aujourd'hui dirigée par MM. Breuil et Risacher, la chaleur dégagée par la combustion, est mieux utilisée. Les gaz, à leur sortie du foyer, par le conduit *C*, se répandent dans une vaste chambre *C'*, dans laquelle ils doivent traverser un faisceau d'une vingtaine de tubes verticaux, avant de passer à la cheminée. L'ouverture de cette dernière débouche un peu plus bas que la plaque supérieure ; par suite de cette circonstance, les couches les plus chaudes seraient retenues dans la chambre, si toutefois le courant ne s'y faisait pas trop sentir. En réalité, les gaz, dès leur arrivée, tendront vers la cheminée, et la surface de chauffe sera inégalement utilisée dans les différentes parties du faisceau. Il est vrai que la circulation très rapide de l'eau, résultant de la verticalité des tubes, activera beaucoup l'absorption de la chaleur, en même temps qu'elle préviendra l'accumulation des dépôts.

La faible section (1/8 de la surface de grille) de la communication entre le foyer et la chambre, a l'avantage de moins diminuer la résistance des plaques, mais la vitesse prise par les gaz dans ce conduit unique, contribue à leur répartition non uniforme à travers le faisceau. Le grattage intérieur des tubes s'effectue par le tampon autoclave disposé au sommet de l'appareil. D'autres ouvertures permettent de nettoyer le ciel du foyer et la plaque du fond. Il importe d'entretenir bien propre la rivure inférieure du conduit *C*, fortement chauffée par le passage rapide des gaz.

En raison de la grande hauteur de la chambre *C'*, l'espace réservé à la vapeur est assez restreint ; d'autre part, les bulles arrivent à la surface après avoir acquis une grande vitesse, par suite de la hauteur du niveau et de la circulation dans les tubes ; ces conditions ne peuvent que favoriser la tendance au primage.

Générateur de M. Colombier, à Lyon (Rhône).

Dans cet appareil (pl. XXV, fig. 8 et 9) le foyer est traversé par sept étages de tubes horizontaux, recourbés de manière à couper normalement la paroi. D'un étage à l'autre, la position des tubes est alternée, afin de mieux brassier les produits de la combustion. Ces produits s'engagent, au-dessus du faisceau, dans un conduit central portant à son extrémité supérieure un manchon en fonte qui vient s'adapter, à joint conique, à l'intérieur d'une pièce analogue attachée sur un prolongement de la calandre. Un couvercle boulonné sur les deux pièces complète l'obturation. Des gaz même très chauds, parcourant un conduit vertical, de près de cinq décimètres carrés de section, ne peuvent céder beaucoup de calories à l'eau ni à la vapeur environnantes. L'absorption de la chaleur s'opère en de meilleures conditions à travers le faisceau, qui réalise une surface de chauffe étendue, perpendiculaire au courant, et intérieurement balayée par une circulation rapide.

Si le sens de cette circulation restait indéterminé, la vaporisation serait irrégulière ; de plus, les bulles partant de l'un des tubes pourraient être aspirées par un tube supérieur, au lieu de se diriger directement vers le plan d'eau. Voici comment M. Colombier prévient ces inconvénients. Une enveloppe en tôle mince est disposée autour du foyer, à partir de la grille. Chacun des tubes a

est mis en communication, par l'une de ses extrémités (à l'aide d'une bague a^1 , enfilée à travers l'enveloppe), avec le courant descendant le long de la calandre. L'eau pénètre dans le tube par cette extrémité, et se déverse dans le courant ascensionnel, très rapide autour du foyer. Ces dispositions assurent une production plus constante de la vapeur, et une tendance moindre à l'entraînement d'eau.

La courbure des tubes diminue sans doute les efforts exercés par leur dilatation, mais ces efforts se trouvent inégalement répartis sur la circonférence des joints. D'autre part, les tubes étant horizontaux et chauffés par-dessous, tendent (au moins les plus longs) à se cintrer vers le bas. Pendant les arrêts, des dépôts plus ou moins adhérents pourront s'y rassembler, surtout dans les étages inférieurs, où les déformations permanentes seront plus accentuées. En marche, les matières en suspension ne se déposeront que dans la région de la calandre élargie en forme de socle. Des tampons, distribués près du fond, permettent de les évacuer. Le socle et le corps de chaudière principal sont assemblés par un joint démontable; la surface extérieure des tubes est moins facilement accessible que leur surface interne.

L'ensemble de l'appareil est simple; peu de rivets sont frappés par les flammes. Le parcours des gaz est bien chicané, mais comme il est vertical et très court, la température tendra à s'élèver, sans grand profit, dans la cheminée. Cet échauffement sera plus marqué lorsqu'un abaissement de niveau déterminera une réduction de la surface de chauffe. Il serait particulièrement dangereux de laisser l'eau descendre au-dessous de la plaque du foyer; en effet, cette plaque est soumise ainsi que ses rivures, à des efforts d'autant plus grands que le foyer et la cheminée, dont la dilatation n'est pas libre, prennent une plus haute température.

Les deux soupapes sont installées sur la bouteille qui porte l'indicateur de niveau; on a eu soin de prolonger intérieurement le tube amenant la vapeur, pour que l'indication ne soit pas faussée par l'échappement aux soupapes.

La hauteur donnée à l'appareil diminue proportionnellement l'emplacement horizontal; elle augmente peut-être un peu les déperditions, mais une enveloppe non conductrice, facile à démonter, recouvre toutes les parois extérieures, sauf dans la région relativement froide, en contre-bas de la où se fait l'alimentation.

Dans le système de M. Roser, constructeur à Saint-Denis (Seine), le foyer, au lieu d'être traversé par un faisceau tubulaire, est occupé par deux serpentins verticaux, entrelacés, et dont les orifices communs d'entrée et de sortie viennent déboucher dans la calandre, le premier un peu au-dessus de la grille, le second à côté de la cheminée centrale. La surface de vaporisation est plus grande, mais les gaz sont moins bien brassés que dans le générateur précédent. Un brise-flammes, en forme de capuchon, est placé sous l'entrée de la cheminée, et doit être rapidement rongé par le courant. Il est impossible d'atteindre la surface interne des serpentins; or, si rapide que l'on suppose la circulation, on sait qu'elle ne saurait prévenir absolument les incrustations. Les serpentins employés par M. Roser sont en cuivre rouge, sans soudure.

Générateur de M. L. Monnier, à Paris.

Les tubes pendants à l'intérieur du foyer peuvent recevoir des formes diverses: tantôt ils sont droits, bouchés à l'extrémité inférieure, comme dans le système Field; tantôt ils sont recourbés en U , et attachés aux deux bouts, comme dans la chaudière Thirion; les deux branches peuvent être de

diamètre inégal, ce qui détermine le sens de la circulation, comme dans l'appareil de M. Rikkers. Ces diverses dispositions se valent à peu de chose près ; toutes réalisent une surface de chauffe étendue, efficace et à dilatation libre. L'inconvénient commun, outre l'entrainement d'eau, est la formation de dépôts qui finissent par obstruer les tubes ; il est vrai que ceux-ci sont assez faciles à remplacer.

Comme exemple d'une application récente des tubes Field, nous signalerons le générateur de M. L. Monnier (pl. XII, fig. 5 et 6), qui offre en même temps un retour de flamme tubulaire. Dans l'appareil exposé en 1879, le foyer et les deux carreaux *c* avaient une section aplatie ; la disposition actuelle est un peu plus simple. La plaque tubulaire est concentrique à la calandre ; en projection, le foyer est tangent à l'intérieur de la plaque, du côté de la porte, et les tubes de retour sont disposés du côté opposé. Une pièce de forge unique rattache le foyer et les deux tubes à la plaque. On voit que sous cette dernière, les gaz prennent un développement très favorable à la transmission de la chaleur. Ils descendent ensuite dans le compartiment *C*, réservé dans le socle-cendrier, et sur lequel repose la cheminée. Les proportions de l'appareil sont bien calculées ; le rendement doit être très satisfaisant.

La circulation est déterminée dans le faisceau non par des tubes internes, mais par de simples lames cintrées (fig. 7). Le rapport de la surface de chauffe au volume d'eau n'étant pas le même dans les deux parties du tube, le liquide s'élèvera du côté de la convexité de la lame. Si cependant par suite d'une inégale distribution des flammes, le côté opposé recevait à un moment donné plus de chaleur, le courant risquerait d'être, sinon renversé, du moins ralenti, ce qui n'a jamais lieu dans les tubes Field ordinaires.

Les diverses parties de la surface de chauffe peuvent se dilater librement. Dans les modèles un peu importants du même système, il sera bon de consolider par quelques armatures la plaque perforée supportant le faisceau. Un tampon de visite *T* est placé à portée de cette plaque ; plusieurs constructeurs préfèrent ne pas affaiblir par une large ouverture la région de la ligne d'eau, plus exposée aux corrossions. Quatre bouchons de lavage *t* sont distribués au-dessus du fond inférieur, en contre-bas du robinet d'alimentation *e*. En regard des tubes de retour, deux tampons *T'* sont disposés, d'une manière peu pratique, sur la plaque tubulaire, en contact direct avec les gaz. Enfin, la boîte à fumée est munie d'une porte de nettoyage *p*.

Sur cette boîte repose un réservoir *E*, que traverse la cheminée, et dans lequel s'échauffe plus ou moins l'eau alimentaire. Un autre réservoir *W*, où l'on fait passer la vapeur, est également traversé par la cheminée. Pour admettre l'efficacité de la surface de surchauffe ainsi réalisée (en même temps qu'une surface de déperdition de plus grande étendue) par un courant vertical dont la couche extérieure a déjà parcouru des parois baignées d'eau froide, il faudrait supposer aux gaz une température de sortie évidemment exagérée.

III

ACCESSOIRES DE CHAUDIÈRES

Nous avons déjà décrit, à propos des divers types de générateurs, les organes accessoires ou les constructions annexes qui constituaient l'une des particularités du système considéré. Il nous reste à signaler un certain nombre d'appareils imaginés, non en vue d'une application spéciale, mais pour être adaptés à la généralité des chaudières.

Nous passerons rapidement en revue les principaux perfectionnements apportés dans ces dernières années à la construction des accessoires. De nouvelles combinaisons se sont produites, et la plupart de celles déjà connues ont reçu de notables simplifications. On conçoit, en effet, que des mécanismes placés dans les conditions exceptionnelles de température et de pression, exposés, en raison du milieu où ils fonctionnent, à des altérations auxquelles il est difficile de porter remède, doivent être aussi simples que possible. Les effets des dilatations inégales, des oxydations, du dépôt de matières solides en suspension dans l'eau ou entraînées par la vapeur, augmentent avec le nombre des articulations, et l'appareil le plus ingénieux conservera d'autant moins long-temps sa sensibilité, qu'elle sera obtenue au prix d'une plus grande complication. Cette remarque, très générale, s'applique particulièrement aux accessoires destinés au contrôle de l'alimentation (indicateurs du niveau, régulateurs, etc.).

INDICATEURS DE NIVEAU

Indicateur magnétique de MM. Lethuillier et Pinel, à Rouen (Seine-Inférieure).

Nous avons signalé sur la plupart des chaudières de l'Exposition, la présence de l'indicateur magnétique, système Lethuillier-Pinel. Le grand succès de cet instrument doit être attribué à sa sim-

plicité et à la confiance qu'inspirent ses indications. Non qu'il soit absolument à l'abri de tout accident, puisqu'une déformation de la plaque graduée, une oscillation trop brusque, une altération possible de l'intensité magnétique, pourraient déterminer la chute de l'aiguille ; mais alors la mise hors de service de l'appareil sera par là même dénoncée. En un mot, il indiquera toujours juste, ou bien il cessera d'indiquer.

On connaît la disposition du système (pl. XXVII, fig. 1 à 4). La tige du flotteur est attachée à un fort aimant, mobile dans une boîte carrée en bronze. De petits ressorts maintiennent les deux pôles recourbés constamment appliqués contre l'une des parois verticales, sur la face extérieure de laquelle se meut un barreau cylindrique *i*, retenu par la seule action de l'aimant intérieur, dont il constitue l'armature. L'échelle graduée (14 centimètres au-dessus du niveau normal, et 6 au-dessous) est protégée par une lame de verre. On voit que l'indicateur ne comporte aucune articulation ; toutes les surfaces frottantes sont verticales, ce qui élimine l'influence du poids des pièces ; ces surfaces se conservent aussi en meilleur état.

Deux sifflets d'alarme annoncent le manque ou l'excès d'eau. Ils sont actionnés par un taquet *t*, fixé sur la tige du flotteur, et qui, à chaque bout de course, vient buter contre l'extrémité d'un levier coudé, dont l'autre branche soulève une petite soupape, maintenue par un ressort.

Quelques améliorations ont été réalisées par MM. Lethuillier et Pinel sur leurs indicateurs actuels. La face contre laquelle glissent les deux pôles a été munie d'une nervure verticale (fig. 3), qui sert de guide à l'aimant, et empêche la déformation de la plaque graduée, l'une des causes de la chute de l'aiguille. Cette plaque était autrefois simplement argentée ; elle reçoit aujourd'hui un émail blanc, inaltérable, et qui permet une lecture plus facile de l'échelle.

L'indicateur figuré à la planche XXVII est installé sur une colonne en fonte, portant le double sifflet d'une part, et de l'autre deux tubulures recevant chacune une soupape de sûreté. Les contrepoids sont renvoyés de l'autre côté de l'appareil, ce qui diminue l'encombrement, et donne à l'ensemble plus de stabilité. Un manomètre peut être vissé à la partie supérieure, et tous les accessoires se trouveront ainsi groupés au-dessus d'une ouverture unique sur la chaudière.

Le surcroit de longueur que cette disposition nécessite pour la tige du flotteur, augmente un peu l'écart entre le niveau réel et le niveau indiqué. Cet écart, résultant de la dilatation de la tige, ne peut jamais s'élever au delà de quelques millimètres.

Les mêmes constructeurs avaient exposé en 1878 un *chronographe électrique du niveau*, que l'on pourrait appliquer à toute espèce d'indicateur. Voici le principe de l'appareil : en arrivant au bout de sa course, l'aiguille indicatrice rencontre l'extrémité d'une lame flexible, reliée à l'un des pôles d'une pile ; cette lame s'infléchit sous la pression exercée par l'aiguille, et vient toucher une lame semblable, placée quelques millimètres plus bas, et qui communique avec l'autre pôle de la pile. Le courant qui s'établit fait aussitôt fonctionner une sonnerie placée loin de la chaudière, dans les bureaux de l'usine. Le manque ou l'excès d'eau est en même temps accusé sur un tableau indicateur, et l'indication ne disparaît que lorsque, l'ayant constatée, on vient à pousser un bouton de déclenchement. Ces dispositions sont très simples et peu coûteuses ; le chauffeur sachant que toute négligence de sa part est infailliblement dénoncée, s'accoutume à plus de vigilance. Il sera bon, de temps à autre, de vérifier le parfait état du circuit. En cas d'explosion par suite d'un défaut d'alimentation, la sonnerie commencera de se faire entendre bien avant l'accident, dont elle révèlera ainsi la cause aux personnes placées dans le voisinage.

Indicateur de M. H. Paucksch, à Landsberg-a-W. (Allemagne.)

Les anciens indicateurs à flotteur, dont la tige sortait de la chaudière à travers un presse-étoupes, non seulement étaient peu sensibles, mais le degré d'exactitude de leurs indications variait rapidement avec le serrage de la garniture. Aujourd'hui, le frottement le long de la tige est généralement remplacé par celui, d'étendue beaucoup moindre, d'un petit arbre sur ses portées.

Les figures 5, 6 et 7 de la planche XXVII représentent la disposition adoptée par M. H. Paucksch, constructeur de machines et de chaudières à Landsberg-a-Warte, dont les générateurs tubulaires sont très appréciés en Allemagne.

Comme dans l'indicateur de M. Bourdon, la tige *a*, reliée au flotteur, pénètre dans une boîte rectangulaire en fonte, et actionne, au moyen d'un levier, un axe horizontal *b*, traversant la boîte, et portant l'extérieur l'aiguille indicatrice *f*. Mais ici, le flotteur est formé de deux calottes sphériques soudées; la tige est guidée verticalement, et elle transmet son mouvement par l'intermédiaire d'une goupille, passée dans la fourchette qui termine le levier. L'arbre *b* s'appuie sur un ajutage conique (fig. 6), et sa position est réglée par une vis. On voit qu'il n'est soumis, de la part de la tige, qu'à des efforts tangentiels. Ses portées n'ont à supporter que son propre poids, celui de l'aiguille et une partie de celui du levier, tandis que dans les indicateurs équilibrés, tout l'attirail (flotteur, tiges, leviers et contrepoids) pèse sur le même axe.

Indicateur métallique de M. Chaudré, à Paris.

La difficulté d'obtenir un joint qui satisfasse à ces conditions assez contradictoires, d'être étanche sans être très serré, subsiste, bien qu'atténuée, dans les indicateurs du genre de celui que nous venons de décrire. M. Chaudré, ancien chef mécanicien au chemin de fer de l'Est, construit aujourd'hui un appareil fondé sur l'élasticité d'un tube métallique, et dans lequel toute espèce de garniture est supprimée (pl. XXVI, fig. 6 et 7).

Le flotteur actionne, au moyen d'un levier, l'axe *a*, dont les oscillations sont transmises par une fourchette à la tige *b*. Cette tige est enfilée dans un tube de cuivre *c*, suspendu verticalement dans une boîte en fonte boulonnée à la chaudière. L'extrémité inférieure du tube est soudée sur la tige, et l'autre bout est soudé à une bague vissée dans le couvercle de la boîte en fonte. Il n'y a donc aucune communication entre cette boîte remplie de vapeur et l'atmosphère, et cependant la tige, imprimant une légère flexion au tube (fig. 6 bis), peut suivre librement les mouvements du flotteur. Il ne reste plus qu'à les transmettre à un mécanisme quelconque, dont les organes, placés à l'air libre, ne se trouveront pas soumis à toutes les sujections qu'entraîne le contact de la vapeur.

Dans la disposition la plus simple de l'appareil Chaudré, l'extrémité supérieure de la tige s'engage dans une rainure hélicoïdale pratiquée dans un petit tambour *d*, dont l'axe porte l'aiguille indicatrice, mobile sur un cadran. Par des combinaisons cinématiques faciles à imaginer, ce cadran peut être renvoyé vers l'avant, dans le cas d'une chaudière horizontale, ou descendu à portée du chauffeur, dans le cas d'une chaudière verticale. Il suffit de relier l'un des pôles d'une pile avec l'aiguille, et l'autre avec deux bornes placées sur le cadran, à chacune des limites de la course, pour faire fonctionner une sonnerie d'alarme.

L'indicateur Chaudré est très sensible ; il exige peu d'entretien. Comme l'indicateur magnétique, il ne donne lieu à aucune fuite de vapeur ; de plus, il ne risque pas d'être arrêté par les secousses auxquelles sont exposées les chaudières marines où locomotives.

Le tube en cuivre, dont l'épaisseur doit être suffisante pour qu'il ne s'écrase pas sous la pression de la vapeur, oppose une résistance croissante à mesure que la tige tend à s'éloigner de la verticale. Cette tige étant obligée de rester toujours parallèle à la tranche inférieure du tube, la position de son centre de rotation dépendra de l'élasticité du métal dans toutes les tranches. On peut craindre que des flexions répétées, au milieu de la vapeur, n'amènent à la longue des altérations d'élasticité, inégales dans les différentes tranches, d'où résulterait un surcroit de résistance. Mais si le tube perd de sa flexibilité, cette modification sera plus prononcée dans les tranches supérieures, qui sont plus fatiguées. Il en résultera un abaissement du centre de rotation de la tige, c'est-à-dire une augmentation du bras de levier agissant sur l'aiguille, ce qui corrigera en partie l'effet de l'accroissement de résistance.

La dilatation du levier portant le flotteur, tend à exagérer les indications de l'aiguille aux très hautes pressions, mais la dilatation du tube de cuivre et de sa tige, en rapprochant l'extrémité de cette dernière de l'axe a , agit en sens inverse.

Indicateur-glace de M. G. Dupuch, à Paris.

Quelque perfectionné que soit un indicateur à cadran, lorsqu'il s'agit du niveau de l'eau, une aiguille, mobile sur une échelle verticale, et reproduisant identiquement les oscillations de la surface liquide, semblera toujours donner des indications plus frappantes et plus exactes. Cette considération a conduit M. G. Dupuch à imaginer un indicateur direct, sans garniture extérieure et sans magnétisme. Son système consiste à renvoyer les oscillations du niveau à un index se déplaçant dans un récipient toujours plein d'eau ; l'absence de vapeur dans ce récipient permet d'y rendre visibles les mouvements de l'index, à travers une forte glace (de là le nom donné par l'inventeur à son instrument). L'appareil est représenté à la planche XXVI, figures 1 à 4.

La tige du flotteur traverse d'abord un guide fixé à l'intérieur d'une colonne en fonte, et vient s'attacher, à la hauteur voulue, sur une fourchette dont les branches sont aussi guidées par des glissières verticales. A ces branches est reliée une bielle à fourche j , qui se meut dans une boîte aplatie, boulonnée sur la colonne ; un appendice latéral, venu de fonte avec la boîte, porte à son extrémité inférieure un récipient dont la hauteur est égale à la distance des niveaux extrêmes. La fourche recourbée j , tient suspendue dans l'appendice une seconde bielle l (fig. 3), qui se prolonge par une tige guidée verticalement dans le récipient, et terminée par un index i (fig. 4).

Le récipient est formé de deux parties ; l'une est boulonnée à l'appendice, dont elle est isolée par l'interposition d'une pièce de bois ; l'autre, formant la face intérieure, est percée d'une fenêtre oblongue, fermée par une forte glace. Cette dernière est serrée, entre deux bandes de caoutchouc, d'un côté par l'encadrement de la fenêtre, contre lequel l'applique la pression intérieure, de l'autre par une bride de retenue. La condensation de la vapeur maintient le récipient et l'appendice remplis d'eau claire et relativement froide. Les oscillations de l'index sont de même sens et de même longueur que celles du niveau, sauf la petite différence due à l'obliquité des bielles j et l , et dont il est tenu compte dans la graduation de l'échelle.

Au point de rencontre de ces bielles, est attaché un levier, tournant autour de l'axe *a*; une came fixée sur cet axe vient agir, dans ses positions extrêmes, sur l'un des deux petits leviers coudés actionnant la soupape à ressort du sifflet d'alarme *z*. On voit que l'ouverture de la soupape a lieu progressivement, sans que la came et par suite l'index soient arrêtés dans leur mouvement.

S'il est besoin de changer la glace, ou de nettoyer sa face interne, on peut démonter le récipient, même sous pression. A cet effet, la tige portant l'index est munie, près de son attache sur la bielle *I*, d'un petit clapet qui intercepte toute communication entre le récipient et la chaudière, lorsque le flotteur se trouve dans sa position la plus basse. Pour lui faire prendre cette position, quelle que soit la hauteur du plan d'eau, il suffit de faire descendre la vis à manivelle *m*, qui pèse sur le levier fixé en *a*, convenablement recourbé à cet effet. Le clapet d'entrée dans le récipient une fois fermé, on laisse l'eau s'échapper par le bouchon de purge placé en dessous, et l'on déboulonne la face antérieure.

Le récipient bien remis en état, on soulève la vis *m*, le clapet supérieur s'ouvre, et l'eau condensée dans l'appendice descend jusqu'à la glace qui n'est jamais en contact avec la vapeur. A la première mise en marche, on peut introduire de l'eau distillée par un bouchon vissé au-dessus de l'appendice. Un autre bouchon, sur la colonne de support, permet de régler la position du flotteur, en faisant varier le point d'attache de la tige dans le manche de la fourchette.

Si la glace venait à se fêler, elle tiendrait encore assez longtemps pour qu'on put la remplacer sans laisser échapper de vapeur. Mais si, par accident, elle était brisée, la vapeur ne cesserait de sortir que lorsque l'index serait descendu à sa position extrême. Il serait à désirer que la fermeture du clapet pût être obtenue, sinon automatiquement, du moins d'une manière plus prompte que par la manœuvre de la vis supérieure.

Il est nécessaire qu'un indicateur soit juste, mais non très sensible ; au contraire, des oscillations trop étendues rendent difficile l'appréciation de la hauteur exacte du plan d'eau. Sous ce rapport, le poids considérable de l'attirail supporté par le flotteur dans l'indicateur Dupuch, ne présente pas d'inconvénient. A d'autres points de vue, nous croyons que cet appareil, dont le principe est excellent, et le fonctionnement très sûr, gagnerait à être simplifié. La diminution du nombre des pièces et des articulations entraînerait un prix de vente moins élevé, un encombrement moindre, et ne pourrait qu'ajouter à la précision des indications.

Tubes de niveau.

On doit encore à M. G. Dupuch une disposition destinée à arrêter les conséquences de la rupture accidentelle d'un tube de niveau (pl. XXVI, fig.8). A chaque extrémité du tube de verre est installé un petit clapet. Ces clapets *a* et *b*, sont maintenus ouverts, celui du haut par un ressort à boudin, celui du bas par son propre poids. A la base de leur surface conique ils présentent un évidement dans lequel circule librement le fluide ambiant. Dès que le verre étant brisé, la vapeur et l'eau s'échappent avec force, les clapets sont entraînés, et viennent fermer la communication avec l'atmosphère.

La figure indique tous les détails de l'attache des tubes et de la disposition des clapets. Un bouchon vissé en regard de chacun d'eux permet de vérifier leur état d'entretien et leur fonctionnement.

Une disposition analogue à celle de M. Dupuch pourrait être appliquée toutes les fois que deux capacités sont mises en communication, et qu'il y a intérêt, en cas de fuite de l'une, d'empêcher au moins l'autre de se vider; dans les chaudières, par exemple, une soupape pourra séparer au besoin, un réservoir d'eau ou de vapeur du vaporisateur plus exposé aux accidents.

Au lieu de remédier à la rupture des tubes de niveau, on peut chercher à la prévenir, en supprimant sa cause la plus fréquente: l'échauffement du verre; tel est l'objet du *niveau Daniel* que construit la maison E. Bourdon, à Paris, et qui, à l'Exposition, était installé sur la chaudière Dulac.

L'eau et la vapeur sont d'abord admises dans la colonne *N* (pl. XXVI, fig. 9); avant d'arriver dans le tube *n*, l'eau circule dans un conduit disposé en hélice dans le socle de la colonne, où elle se refroidit et abandonne les matières entraînées. Un serpentin métallique relie à leur partie supérieure le tube et la colonne. Ce serpentin est plein d'air qui se comprime, lorsqu'on admet la vapeur, et l'empêche d'arriver jusqu'au tube. L'eau condensée dans le serpentin retombe dans la colonne. L'étanchéité des joints *a* et *b*, et de ceux du tube, est assurée par des rondelles de caoutchouc enduites de céruse.

Il convient de purger plusieurs fois par jour le réfrigérant placé au bas de la colonne; il suffit pour cela de donner au robinet *c* la position indiquée par la figure 10. Lorsqu'on veut remplacer le verre ou le nettoyer intérieurement, on donne au même robinet la position de la figure 11.

RÉGULATEURS AUTOMATIQUES D'ALIMENTATION

Lorsqu'un générateur est alimenté par intermittences, pour peu que la dépense augmente, le niveau s'abaisse rapidement; la masse à chauffer diminuant, les gaz partent plus chauds à la cheminée; bientôt, des surfaces rencontrées par ces gaz cessant d'être protégées par le liquide, la sécurité de la chaudière est compromise. Quand à ce moment on alimente, l'arrivée d'une masse d'eau froide sur des parois très chaudes risque de déterminer de graves dislocations; la pression, après quelques oscillations brusques, occasionnées par le contact de l'eau avec des tôles rougies, finit par tomber au-dessous de la demande. Le niveau continuant de s'élever, le primage augmente et des projections d'eau sont à craindre. On comprend que des inventeurs se soient souvent proposé de réaliser une alimentation continue, réglée automatiquement par les variations même du plan d'eau. La plupart de leurs appareils se sont heurtés, dans la pratique, contre les inconvénients résultant de la mise en contact d'organes assez délicats avec des eaux généralement incrustantes.

Nous avons déjà parlé du régulateur Belleville (pl. VI, fig. 6 et 7); nous décrirons deux autres régulateurs assez simples, qui figuraient aussi à l'Exposition de 1878, et dont le fonctionnement paraît très satisfaisant.

Régulateur de MM. Lethuillier et Pinel, à Rouen (Seine-Inférieure).

Cet appareil, représenté à la planche XXVI, figures 12 à 15, est commandé par un flotteur, dont la tige vient agir, à l'intérieur d'une caisse en fonte, sur un levier *l* fixé à un arbre *a*. Cet arbre traverse un compartiment cylindrique, divisé par une cloison *d* en deux parties; l'une communique avec le robinet *R* d'arrivée d'eau, l'autre avec le conduit *f* d'injection à la chaudière. Sur l'arbre *a* est enfilé un disque percé d'ouvertures rayonnantes, qui vient s'appliquer contre la cloison *d*, dans laquelle sont ménagées des ouvertures égales. Lorsque la rotation de l'arbre sous l'action du flotteur fait correspondre les ouvertures du disque et de la cloison, l'eau s'écoule par les conduits *e*, soulève le clapet de retenue *c*, et passe dans la chaudière. A mesure que le flotteur s'élève, l'alimentation diminue; lorsque les fenêtres de la cloison sont entièrement masquées, l'eau cesse d'être admise, et s'échappe par une soupape de retour (fig. 15) installée sur la conduite alimentaire, dans le voisinage de la pompe.

Le clapet *c*, dont la levée est réglée par la manivelle *m*, prévient le refoulement dans l'appareil de l'eau plus ou moins boueuse de la chaudière. On voit que le tuyau d'arrivée d'eau peut communiquer immédiatement, par le conduit *e'*, avec le tuyau d'injection *f*. En donnant une position convenable au robinet à trois voie *R*, on interceptera le passage de l'eau à travers le régulateur, et l'on alimentera directement. L'arbre *a* présente un épaulement conique que la pression de la vapeur tient appliqué contre la cloison *d*. On peut donc, même en marche, démonter et visiter toutes les pièces situées de l'autre côté: l'écrou *E*, le chapeau *b*, le ressort qui presse le disque sur la cloison, et le disque lui-même, simplement guidé sur l'axe. Pendant ce démontage, on a recours à l'alimentation directe.

L'arbre *a* est en acier, la cloison et le disque, légèrement coniques de façon à s'emboîter, sont en bronze. Toutes les parties de l'appareil sont d'une exécution soignée, et celles exposées à des altérations, sont faciles à réparer. Les frottements inévitables ne nuisent pas au fonctionnement du régulateur qui, en marche, devrait rester constamment ouvert de la quantité correspondant à la dépense de vapeur. Si le flotteur n'opposait pas une certaine résistance aux oscillations du niveau l'appareil serait exposé à des coups de bâlier continuels.

Le volume admis dépend non seulement du degré d'ouverture des orifices, mais encore de la vitesse d'arrivée de l'eau. Toutefois, comme la section de passage déterminée par la hauteur du niveau, peut décroître indéfiniment, elle finira toujours par se régler sur la pression dans le tuyau alimentaire. D'après cette remarque, une seule pompe sera nécessaire pour une batterie de générateurs, munis chacun d'un régulateur Lethuillier-Pinel.

Régulateur de M. V. Cleuet, à Paris.

Le système de M. V. Cleuet consiste à alimenter directement, sauf à soutirer du tuyau d'injection la quantité d'eau qui arriverait en excès dans la chaudière; un clapet, dont la levée varie automatiquement avec le niveau, règle à chaque instant l'importance de cet excès, qui retourne à la bâche de la pompe. Le principe est très rationnel, et quelques avantages pratiques peuvent résulter de ce que le régulateur est traversé par un volume d'eau généralement moindre. Mais on

voit qu'il exige une pompe spéciale pour chacun des générateurs auxquels il est appliqué, puisque l'orifice d'admission dans ce générateur reste constant, tandis que la vitesse de l'eau serait influencée par l'alimentation d'une autre chaudière que desservirait le même tuyau de refoulement. Il faudrait renverser le sens du clapet, et transformer le tuyau de retour en tuyau d'injection, pour rentrer dans les conditions du système précédent.

Dans le régulateur Cleuet, la transmission des mouvements de l'eau s'opère non au moyen d'un flotteur, mais par la dilatation d'un tube métallique. L'appareil, représenté à la planche XXVIII (fig. 1), comprend deux tubes parallèles *a* et *b*, assemblés à chaque bout sur une pièce de communication. Celle de droite porte deux tubulures *v* et *e*, qui doivent se trouver, une fois en place, la première un peu au-dessus, l'autre au-dessous du niveau normal dans la chaudière. La pièce de gauche se termine par une vis *h*, dont la pointe vient agir sur l'une des branches d'un levier. L'autre branche fait ouvrir un clapet *e'*, guidé dans la boîte *d*, et pressé sur son siège par un ressort. De part et d'autre du clapet débouchent le tuyau *p*, branché sur la conduite alimentaire, et le tuyau *p* allant à la bâche. La boîte *d* et le levier sont fixés sur une pièce de support *f*; le rectangle formé par les deux tubes n'est attaché à cette pièce que par l'extrémité de droite; l'autre bout est simplement soutenu par un guide *g*. L'ensemble est suspendu à la chaudière, ou à proximité, dans une position telle que les extrémités du tube *a* arrivent, celle de gauche à la hauteur minimum, et l'autre à la hauteur maximum du niveau. La température de ce tube est différente suivant que c'est l'eau ou la vapeur qui la remplit; en effet, l'eau se refroidit rapidement par suites de la déperdition extérieure; la vapeur au contraire s'y renouvelle sans cesse, à mesure qu'elle se condense. Ainsi le tube atteint sa plus grande longueur lorsque le niveau descend au-dessous de l'extrémité inférieure. Dans cette position, la vis *h* cessant de toucher le levier, le clapet poussé par son ressort, est complètement fermé, c'est-à-dire que toute l'eau refoulée par la pompe passe dans la chaudière. A mesure que le liquide s'élève dans le tube, celui-ci se contracte; la vis *h* appuie sur le levier, le clapet s'ouvre, laisse passer à la bâche une proportion d'eau croissante, et diminue d'autant l'alimentation.

Le tube *a* est en laiton; le coefficient de dilatation de ce métal est un peu plus fort que celui du fer ou du cuivre. Le tube en cuivre mince *b*, est recourbé de manière à suivre aisément les variations de longueur du tube *a*. Ces oscillations, ne dépassant pas quelques centimètres, sont amplifiées par l'intermédiaire du levier. Il serait peut-être préférable de disposer le clapet verticalement. Un bouchon de visite permet de le démonter sans suspendre l'alimentation, après avoir fermé le robinet monté sur le branchement *p*. Pour prévenir l'entraînement de corps étrangers pouvant empêcher la fermeture du clapet, un petit panier à claire-voie est suspendu sous l'orifice d'arrivée de l'eau; on le retire en dévissant le boulon placé au-dessus. Un autre boulon, sur la pièce d'attache de gauche des deux tubes, sert à vérifier la non-obstruction de leur extrémité. Dans le même but, un robinet de purge est adapté au bas de l'autre pièce d'attache.

Pour un niveau donné, la longueur du tube n'est pas rigoureusement constante : elle dépend de diverses variables indépendantes, telles que l'état des pièces, la température environnante, mais surtout la pression variable de la vapeur, qui modifie à la fois l'allongement dû à l'élasticité du système, et celui occasionné par l'élévation de température. Cette dernière influence est loin d'être négligeable, lorsqu'il s'agit de déplacements aussi faibles. La vis de réglage *h* permettra d'en tenir compte dans chaque cas.

L'appareil est peu compliqué, facile à installer et à entretenir. A l'Exposition, il assurait le fonctionnement régulier du générateur Dulac, et l'on pouvait constater à la main, sur le tube en

laiton, la position du niveau. L'eau, tombant d'une certaine hauteur du tuyau de retour dans la bâche, produisait un bruit continu auquel le chauffeur s'était accoutumé, et dont les variations appelaient aussitôt son attention sur les conditions de marche de l'appareil.

Nous signalons ce détail, parce que rien n'est à négliger lorsqu'il s'agit de la surveillance d'une chaudière. On remarquera que les observations par la vue supposent la vigilance du chauffeur; celles par l'oreille la provoquent.

APPAREILS D'ALIMENTATION

L'étude des pompes alimentaires est plutôt du ressort de la construction des machines que de celle des chaudières. Nous nous bornerons à mentionner les pompes Belleville, Sulzer, Tangye, Appleby, Chiazzari, Stapfer, Brown, etc., qui figuraient à l'Exposition de 1878.

Diverses modifications ont été apportées à l'injecteur Giffard, dans le but de rendre son fonctionnement plus sûr, de prévenir tout entraînement d'air, d'augmenter la hauteur d'aspiration : la température de l'eau alimentaire, etc. Nous signalerons, par exemple, l'injecteur type marin MM. G. Flaud et A. Cohendet, l'injecteur Körting qui peut aspirer de l'eau à plus

L'injecteur Vabe, construit par la Cie de Fives-Lille, est représenté à la planche XXVI (fig. 16 et 17). Voici, en peu de mots, comment il fonctionne : en tournant la manivelle *m*, on fait ouvrir la soupape *a*; la vapeur, arrivant par le tuyau *v*, est dirigée dans un espace annulaire convergent *d*, autour duquel se fait l'aspiration d'eau, par le tuyau *e*; puis, elle traverse un second cône, en relation aux deux bouts avec le trop-plein *e'*. En regard est le cône divergent qui aboutit à la soupape d'introduction dans la chaudière *c*. Lorsqu'on commence d'admettre la vapeur, elle se répand dans les espaces *o* et *p*, soulève le clapet *b*, et s'échappe par le conduit *e'*. Dès que l'eau aspirée descend par ce conduit, on ouvre en grand la soupape *a*. La pression du mélange d'eau et de vapeur soulève alors la soupape *c*, et le clapet *b*, retombant sous la pression atmosphérique, prévient l'aspiration de l'air extérieur : cet air, introduit dans la chaudière, serait ensuite appelé dans l'injecteur dont il générerait le fonctionnement. Un robinet *R* permet de diminuer l'aspiration d'eau lorsque la pression de la vapeur n'est pas suffisante pour empêcher tout écoulement par le trop-plein.

Comme exemple d'injecteur sans aiguille directrice, nous avons reproduit sur la même planche (fig. 18) celui de M. A. Friedmann. Le tuyau *c* aboutit à un clapet de retenue *r*, attaché sur la chaudière et muni d'un robinet, comme le montre la figure voisine. Le volant *m* règle l'arrivée de vapeur. L'eau est d'abord amenée d'un réservoir supérieur par le tuyau *e*, à travers le robinet *n*; elle entoure deux cônes conducteurs, et s'échappe par le trop-plein. La vapeur est alors admise, et l'on réduit l'arrivée d'eau jusqu'à ce que le clapet *e'* retombe sur son siège.

Alimentateur de M. Y. Cohnfeld, à Dresde (Allemagne).

L'appareil Cohnfeld constitue une sorte de bouteille alimentaire fonctionnant automatiquement lorsque le niveau vient à baisser. Cette bouteille (pl. XXVI, fig. 20) est divisée en deux compartiments *a* et *b*. Le premier est mis en relation avec la chaudière, à sa partie supérieure, par un tuyau venant déboucher à la hauteur du niveau normal, et à sa partie inférieure par un conduit *e*² qui plonge dans le liquide. Le second compartiment communique avec le premier à son sommet par le tuyau *v*¹, et près du fond par le tuyau *e*¹. Enfin ce même compartiment est relié par le conduit *e* soit à une bâche d'eau froide *E*, soit à un réservoir supérieur. Le conduit *e* se termine par un clapet de retenue empêchant l'eau de la chaudière d'être refoulée dans la bâche.

Supposons tout le système plein d'eau : lorsque le niveau s'abaisse au-dessous de l'orifice du tuyau *v*, l'équilibre est détruit, la vapeur monte dans le compartiment *a* pendant que l'eau qui le remplit soulève la soupape *d* et descend par *e*² dans la chaudière. La vapeur s'élève ensuite par le tuyau *v*¹ dans le compartiment supérieur, d'où l'eau descend en *a* par le tuyau *e*¹. Si à ce moment on supprime par un moyen quelconque l'arrivée de vapeur, l'écoulement de l'eau s'arrête, la soupape *d* retombe et toute communication est momentanément interrompue avec la chaudière. Cependant, la vapeur plus ou moins détendue dans le compartiment *b*, et refroidie au contact de l'eau froide et des parois exposées à l'air, finit par se condenser. La pression atmosphérique fait alors ouvrir le clapet de retenue du tuyau *e*, et refoule en *b* l'eau de la bâche.

Tout se retrouve ainsi dans l'état primitif, et une nouvelle admission de vapeur en *v* reproduira la série des phénomènes. Il est à peine besoin de faire remarquer qu'il n'y a pas ici, ~~pas non plus~~, que dans le fonctionnement de l'injecteur, l'apparence d'un *mouvement perpétuel*. ¹ par l'élévation de l'eau, sa circulation dans l'appareil et son injection dans la chaudière, par une dépense de chaleur résultant des calories abandonnées par la vapeur qui se détend et se condense, calories dont une partie seulement retourne à la chaudière. En raison de ce retour, le rendement est très élevé.

L'appareil ne serait pas beaucoup plus commode qu'une bouteille alimentaire, s'il fallait interrompre à la main l'arrivée de vapeur, pour donner à la condensation le temps de s'effectuer. Cet office est rempli automatiquement par une soupape installée dans le support *c*, et dont la forme est indiquée par les figures 21 et 22. Tant qu'elle est ouverte, la vapeur passe librement ; dès que le courant acquiert une certaine vitesse, la soupape est entraînée et vient s'appliquer contre son siège supérieur. Elle reste ainsi fermée tant que dure l'aspiration produite par la condensation, puis elle retombe par son poids. Ce va-et-vient peut se produire quatre à cinq fois en une minute.

Sans entrer dans les détails de la construction de l'appareil, nous mentionnerons : la cloison épaisse en bois qui sépare les deux compartiments, et y maintient une différence de température ; la calotte perforée suspendue en *a* et destinée à hâter la condensation ; la soupape *f*, à boule de liège qui, au moment où la tension de la vapeur est égale à celle de l'atmosphère, retombe par son poids et laisse échapper l'air apporté par l'eau ou la vapeur, et qui s'est accumulé dans la boîte ; enfin le sifflet d'alarme *g* à rondelle fusible, destiné à avertir lorsque pour une cause quelconque (manque d'eau, température trop élevée, etc.) la condensation ne peut plus s'effectuer.

L'appareil est ingénieux et simple ; il n'est soumis à d'autres causes d'altération que celles résultant de l'impureté des eaux ; à ce point de vue, on peut y multiplier les moyens de nettoyage.

On voit que son fonctionnement est fondé sur le temps pratiquement exigé pour l'accomplissement des différentes phases : circulation et condensation de la vapeur, écoulement et aspiration de l'eau. Toutes les dimensions, notamment les longueurs des tuyaux, sont calculées de telle sorte que ces phases se succèdent avec la régularité assurée, dans la bouteille alimentaire, par la manœuvre des divers robinets. Mais cette régularité dépend de plusieurs circonstances qui ne varient pas toutes dans le même sens, de là la difficulté d'obtenir un fonctionnement très uniforme. Ainsi, on peut bien, à l'aide de la soupape à volant disposée au-dessus du support *c*, faire varier la quantité de vapeur admise, à mesure que sa pression s'élève. Mais le temps nécessaire pour la condensation d'un même poids de vapeur dépendra aussi de son volume, qui varie inversement à la pression.

Un mode de réglage facile et précis assurerait le succès d'un appareil réalisant, à peu de frais, sans mécanisme, un régulateur automatique du niveau, en même temps qu'un alimentateur très économique. A l'Exposition, le système Cohnfeld était appliqué à la chaudière de MM. Barbe, Petry et C^e, du groupe belge.

SOUPAPES DE SÛRETÉ

Les principaux reproches adressés à la disposition ordinaire des soupapes de sûreté (pl. XXVII, fig. 2), résultent de l'inclinaison que prend le levier à mesure que la soupape se soulève. Cette inclinaison entraîne une variation du moment du contrepoids, des efforts obliques sur la tige et les guides de la soupape, enfin un frottement considérable occasionné par le déplacement du point de pression.

Un premier moyen d'atténuer ces influences nuisibles, consiste à faire arriver l'extrémité de la tige de la soupape à la hauteur du point fixe du levier, lorsque ce dernier est horizontal. Pour les levées très petites, et d'autant plus fréquentes, le point de pression reste alors presque immobile sur le levier et sa trajectoire dans l'espace est sensiblement verticale ; de plus la soupape vient tomber normalement sur son siège, et le mate à peu près uniformément.

Soupape de M. A. Montupet, à Paris.

Dans la soupape de Montupet (pl. XXVII, fig. 8), la portion du levier que parcourt l'extrémité de la tige a pour profil un arc de courbe. Cette courbe est la développante du cercle décrit par le point de pression initial autour du point fixe. Ces deux points sont d'ailleurs placés sur la même horizontale lorsque la soupape est fermée. On sait que la normale, en un point quelconque de la développante d'un cercle est toujours tangente à ce cercle ; en d'autres termes, dans toutes les positions

du levier, la courbe ira rencontrer normalement la tangente au cercle au point initial, c'est-à-dire par la verticale passant par le centre de la soupape.

Cette partie du levier est taillée en couteau. Pour diminuer encore les frottements, le contact avec la tige a lieu par l'intermédiaire d'un galet *g*, porté par une chape *f*, qui est guidée par une traverse supérieure. La tige *c* se termine par une pointe ayant un peu de jeu du côté de la soupape. Le levier est recourbé de manière que le point fixe, le point de pression initial et celui de suspension du contrepoids soient en ligne droite. Plusieurs crans ménagés sur le levier marquent les positions du contrepoids correspondant à diverses pressions.

Pour une même levée de la soupape, l'arc que doit décrire le levier est un peu plus grand lorsque la portée est en forme de développante de cercle que lorsqu'elle est droite. Il en résulte une petite augmentation de frottement, et une réduction un peu plus marquée du bras de levier du contrepoids. Mais on voit que la disposition de M. Montupet supprime, même pour les plus grandes levées, toute poussée oblique de la part du levier, tout danger d'arc-boutement de la tige et de matage inégal des portées.

Soupape-piston de MM. Maurel, Truel et C^{ie}, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Il est certainement plus rationnel de charger les soupapes directement, mais pour les hautes pressions, cette disposition conduit à l'installation de poids volumineux, incommodes à soulever lorsqu'on veut diminuer la pression dans la chaudière. MM. Maurel et Truel obtiennent une fermeture parfaite au moyen d'une charge directe très faible, grâce à l'artifice suivant: leur soupape est mobile comme un piston dans un petit cylindre, et lorsque la vapeur est admise sur ses deux faces, elle reste appuyée sur son siège, sans l'application d'aucun poids. Une autre soupape d'un diamètre beaucoup plus faible, disposée dans l'axe ou à côté de la première, reçoit une charge proportionnée à sa surface; l'ouverture de cette petite soupape sous la pression de la vapeur, fait communiquer avec l'atmosphère la face supérieure de la grande, et cette dernière, restant pressée sous l'autre face, se soulève aussitôt.

La figure 10 de la planche XXVII indique la disposition du système. On voit que le siège *a* est d'un diamètre inférieur à celui du cylindre *b*, dans lequel se meut la soupape-piston *c*. La face inférieure de celle-ci est en contact avec la vapeur dans sa partie annulaire, et avec l'air extérieur dans sa partie centrale. Une cloison horizontale, venue de fonte avec le cylindre *b*, empêche la vapeur d'arriver sur la face supérieure de la soupape. Cette cloison est traversée ainsi que le couvercle de la boîte, par une tige *d*, supportant un contrepoids. Deux évidements latéraux donnent à la tige, dans une partie de sa longueur, une section figurée par la coupe *E F* (fig. 11). Ces évidements ayant une hauteur plus grande que celle de la cloison, laissent passer la vapeur au-dessus de la soupape-piston. Mais si la pression intérieure dépasse celle qui correspond au contrepoids, la tige est soulevée, son extrémité cylindrique ferme complètement l'orifice de la cloison, et le passage de la vapeur est intercepté. En même temps, l'extrémité supérieure des évidements arrive à travers le couvercle dans l'atmosphère, la vapeur qui remplit le cylindre *b* s'échappe, et la soupape-piston se lève. La course de la tige est limitée par un épaulement extérieur *f*, qui vient buter, à la descente contre le couvercle, et à la levée, contre une bague de guidage, vissée sur des supports venus de fonte avec le couvercle.

La soupape-piston ne donne pas lieu à des fuites avant que la pression maximum soit bien atteinte, puisqu'il faut un déplacement assez important de la tige pour empêcher la vapeur de venir compenser les fuites légères qui pourraient se produire sous l'épaulement *f*. Dès que l'échappement a lieu, la soupape s'ouvre immédiatement en grand; dans son mouvement, elle n'est exposée à aucun effort oblique. Tels sont les avantages réels du système.

La tige *d* est placée en de moins bonnes conditions que la soupape; elle est soumise à beaucoup plus de frottements, eu égard à son faible diamètre. Leur importance serait plus marquée si les trois guides n'étaient pas parfaitement centrés, et si le centre de gravité du contrepoids n'était pas placé sur l'axe de la tige. Cette dernière circonstance ne pourrait résulter dans une chaudière fixe que d'un défaut d'installation; dans les chaudières marines, elle se produira à chaque oscillation du navire. On devra éviter de soulever le contrepoids avec un levier pour laisser fuir la vapeur; une déformation possible de la tige pourrait altérer la précision de son fonctionnement.

Soupape à poids direct de M. Eave, à Londres (Angleterre).

L'emploi des soupapes chargées directement, est très répandu en Angleterre; elles conviennent particulièrement aux grandes chaudières à foyer intérieure et à moyenne pression, usitées dans ce pays. Nous avons signalé la soupape Cowburn installée sur le générateur Galloway de l'Exposition. La figure 9 (pl. XXVII), empruntée à *l'Engineering*, montre une disposition plus récente imaginée par M. Eave et construite par Sir John Brown and Co. Un boulet *b* ferme le conduit *a*, et supporte une calotte sphérique *c*, attachée à une longue douille sur laquelle on enfile des poids annulaires. La douille est guidée à sa partie inférieure; sa course est limitée par des vis venant buter contre la partie évasée qui forme l'embouchure du conduit *a*, et au fond de laquelle est placé un siège à arête vive.

La surface de contact de la soupape, est aussi réduite que possible, ce qui assure une levée rapide. Pour renouveler cette surface, il suffit de faire tourner le boulet sur lui-même. L'appareil ne comporte aucune articulation; simple, bien équilibré, peu encombrant, il n'est guère exposé à se déranger.

MANOMÈTRES

Manomètre enregistreur de M. E. Bourdon, à Paris.

La plupart des manomètres fonctionnant à l'Exposition, avaient été fournis par la maison E. Bourdon (fondée en 1832, par M. Bourdon père), dont la réputation pour ce genre d'appareils est universelle.

Les figures 12 à 15 de la planche XXVII indiquent les dispositions du manomètre enregistreur installé sur la chaudière Dulac. Le principe de l'instrument est toujours de mesurer les pressions par le redressement d'un tube cintré, de section elliptique. Les déplacements de l'extrémité libre du tube *a* sont transmis par une combinaison de leviers à une aiguille *f*, mobile autour de l'axe *b*, et dont la pointe parcourt un cadran gradué. Dans la même boîte est installé un mouvement d'horlogerie *g*, qui, en vingt-quatre heures, fait opérer une révolution complète à un disque en carton, sur lequel sont tracés des cercles concentriques correspondant aux pressions du manomètre. La circonference du disque est divisée en heures et quarts d'heures, et chacun des points de division est relié au centre par un arc de cercle ayant pour rayon la distance de ce centre à l'axe *b* de l'aiguille. Sur cet axe est montée une tige terminée par une pointe traçante *i*, qu'un petit ressort appuie sur le disque.

Si le disque est immobile, la pointe reproduira exactement sur l'un de ces arcs les indications de l'aiguille *f*. Lorsque le disque accomplit sa révolution, la pointe trace une courbe dont les intersections avec chacun des arcs donnent la valeur de la pression à l'instant correspondant. Ainsi la courbe A B C D de la figure 12, par exemple, indique que la chaudière a été mise en pression à 3 heures. Cette pression supérieure à 4 kilogrammes jusqu'à cinq heures et demie, n'était guère que de 2 kilogrammes à l'arrêt, à 6 heures et demie. La vapeur ne se dépensant plus, et recevant encore de la chaleur cédée par le massif, la pression s'est lentement élevée d'environ 1 kilogrammes et demi (minuit et demie) pour diminuer jusqu'à 6 heures un quart. A ce moment le feu a été de nouveau allumé, la pression était à 4 kilogrammes à 6 heures et demie et a varié entre 4 et 5 kilogrammes pendant la journée. Il est inutile d'insister sur l'intérêt que présentent ces indications, qui contrôlent à chaque instant le travail du chauffeur.

Manomètre de M. Ducomet, à Paris.

Dans le manomètre de M. Ducomet (même planche, fig. 16 et 17), la vapeur est directement admise dans une capsule métallique *a*, qui se bombe sous la pression et soulève un bouton *b* appuyé

par le ressort annulaire *c*. Ce bouton traverse l'épaisseur du ressort, et à son extrémité est attachée une bielle à fourche *d*, qui actionne l'arbre coudé *e* portant l'aiguille indicatrice *f*. Deux butoirs limitent la course de cette dernière.

Le ressort consiste en une lame d'acier de 0^m,160 de longueur, cintrée et fixée sur un support. La capsule est formée par une feuille mince de cuivre, laminée entre deux feuilles d'argent destinées à la protéger contre toute altération. L'appareil est simple et peu coûteux.

En ne laissant pas séjourner d'eau dans les manomètres métalliques, on supprime les inconvénients qui pourraient résulter d'une congélation pendant l'arrêt. En marche, l'interposition de l'eau condensée ne peut que diminuer les chances d'altération.

ACCESSOIRES DES CONDUITES DE VAPEUR

Robinets.

Les figures 18 à 20 de la planche XXVII représentent la disposition d'un robinet système *Dewrance et Mallisson*, construit par MM. Lethuillier et Pinel, de Rouen. Le robinet est cylindrique. On bourre de l'amiante dans les évidements ménagés à l'intérieur du boisseau, et dans les espaces libres auxquels ils aboutissent.

Cet amiante, fortement comprimé par le presse-étoupes *c*, constitue autour de la clef une garniture élastique, inaltérable, qui dispense de tout rodage.

Dans le robinet *Dupuch* (fig. 21), la soupape conique *b* porte d'un côté une tige filetée guidée dans l'écrou *c*, de l'autre une douille *d*, dans laquelle pénètre l'extrémité carrée de la tige *e* du volant (fig. 22). Celle-ci porte un épaulement conique appuyé sur son siège par la pression intérieure. Un petit ressort logé dans le couvercle assure l'étanchéité de ce joint, garni d'anti-friction. Un certain jeu est laissé entre les pièces *d* et *e*, longitudinalement, pour permettre leur dilatation, et latéralement pour corriger au besoin un défaut de centrage. Au point de vue des déformations qui pourraient se produire pendant le montage ou le fonctionnement, il y a intérêt à diminuer autant que possible la distance de l'écrou *c* au volant de manœuvre.

Au point de vue de la dilatation, on se trouve placé entre deux écueils: une soupape étant fermée, si le refroidissement de sa tige tend à l'appliquer sur son siège, il y aura coïncement après un long arrêt; si la contraction agit en sens inverse, l'étanchéité diminue à mesure que la pression

baisse. On réduit l'influence de la dilatation en rapprochant la soupape de son écrou, comme l'a fait M. Dupuch. Il semble plus rationnel de disposer les diverses pièces de telle sorte que leur déplacement possible puisse être aussitôt corrigé par le chauffeur, c'est-à-dire ne se produise pas après son départ. Dans le cas actuel, par exemple, si la tige filetée était attachée en aval de la soupape (celle-ci restant dans la position figurée) au lieu de plonger dans la vapeur, elle se refroidirait plus rapidement à la fermeture, et, une fois bien serrée, ne changerait plus de longueur, ce qui supprimerait toute chance de fuite pendant l'arrêt.

Les figures 23 et 24 donnent la coupe verticale et horizontale du robinet *Ghatel*, qui desservait, à l'Exposition, la conduite de MM. Weyher et Richemond. Ce robinet, fonctionnant comme une vanne, laisse au passage de la vapeur toute la section des tuyaux, et n'occasionne, par suite, aucune chute de pression. A l'intérieur de la clef conique *b*, descendant deux guides *c*, venus de fonte avec le couvercle, et contre lesquels glissent les ailettes *h* reliant la clef à l'écrou *d*. Pour obtenir une manœuvre rapide, la vis est à trois filets; sa tige traverse une garniture métallique, serrée par un écrou. Les surfaces rodées ne subissent pas de frottement; elles ne portent qu'au moment du serrage à fond.

Joint.

A l'Exposition, la longueur exceptionnelle de la canalisation de vapeur donnait une importance particulière au mode d'assemblage des tubes. Ces tubes, généralement en cuivre, subissaient à la mise en marche, une dilatation de deux ou trois centimètres tous les dix mètres. Nous avons signalé l'application par quelques constructeurs (Chevalier-Grenier, Galloway) d'un petit tuyau d'injection de vapeur destiné à échauffer la conduite graduellement. De distance en distance, des joints particuliers compensaient les effets de la dilatation.

Sur la conduite des chaudières Chevalier-Grenier, la compensation était réalisée soit par des tubes cintrés et flexibles, en cuivre rouge, soit par des disques formés de deux feuilles de tôle mince, rivetées sur une même rondelle (pl. XXVIII, fig. 7 et 8). Cette dernière disposition figurait à l'Exposition de 1867 à la suite des chaudières Galloway.

Les figures 2 à 4 de la même planche montrent les principales particularités de la conduite installée par MM. Belleville et C^{ie} pour le service de la classe 54. Des boîtes de raccordement en fonte, servent de point de départ aux divers branchements. L'une des extrémités de chaque tube y pénètre à travers un presse-étoupes, permettant à la dilatation de s'effectuer. L'eau condensée est recueillie dans une poche munie d'un tuyau de purge. Ces boîtes étaient portées par des traverses, fixées au boisage de la galerie souterraine.

Nous citerons encore le joint Taverdon (pl. XXVIII, fig. 5 et 6) formé d'un manchon présentant un épaulement intérieur, de diamètre un peu plus grand que celui des tuyaux à assembler. A l'extrémité de chacun de ceux-ci, on enfile trois pièces: une bague filetée, un anneau de caoutchouc ou de cuir embouti (l'emboutissage tourné vers le joint), enfin une rondelle en fer dont le bord intérieur, alésé au diamètre extérieur du tube, présente une petite entaille. Sur le bord du tube on donne un coup de panne, de manière à prévenir sa sortie, à moins qu'on ne fasse correspondre la bosselure produite à l'entaille de la rondelle. Celle-ci, une fois le tube introduit dans le manchon, s'applique contre l'épaulement intérieur; derrière, vient se loger la garniture emboutie, que l'on serre en vis-

sant la bague sur l'extrémité du manchon. On a ainsi dans ce manchon deux joints de Bramah, d'une parfaite étanchéité.

Purgeurs automatiques.

Parmi les nombreux appareils destinés à opérer automatiquement l'évacuation de l'eau condensée dans les conduites, nous en avons figuré trois à la planche XXVIII, fondés chacun sur un principe différent.

Dans le purgeur *Vaughan et Stubbs* (fig. 9), un tube de cuivre, ouvert aux deux bouts, est vissé à son extrémité supérieure sous un récipient relié à la conduite; l'autre extrémité du tube pénètre à frottement doux dans une boîte de décharge, et vient rencontrer une soupape *c*, dont la hauteur est réglée par le volant. Cette hauteur doit être telle, que le tube étant froid ne touche pas la soupape, et laisse s'écouler par conséquent l'eau condensée qu'il remplit; mais dès qu'il se dilate au contact de la vapeur, il doit appuyer son bord rabattu contre la soupape, et fermer la communication avec l'atmosphère. Ce tube est entouré d'un manchon protecteur percé d'ouvertures pour la circulation de l'air. L'appareil est très simple, et par le réglage de la soupape, on peut arriver à un fonctionnement assez précis.

Le système *Peyer* (fig. 10 et 11) est basé sur le déroulement d'un tube métallique cintré et fermé hermétiquement, par suite de l'échauffement et de l'accroissement de tension du fluide qu'il renferme. Ce tube *c*, est fixé par un bout sous le couvercle d'une caisse *b*; l'autre extrémité agit sur le levier qui fait tourner un disque *d*, percé d'orifices correspondant à des ouvertures égales sur le couvercle. Ces ouvertures communiquent avec une autre caisse *a*, dans laquelle arrivent la vapeur et l'eau condensée. Tant que cette dernière est assez refroidie, elle passe librement, à travers le disque, dans la caisse *b*, et s'écoule par la tubulure *e*; à mesure que la température de cette eau s'élève, le tube *c* se déroule, à l'approche de la vapeur, l'écoulement est complètement intercepté. Un tambour en tôle perforée, disposé au-dessus de la communication des deux caisses, prévient l'entrainement de particules solides pouvant empêcher le jeu de l'appareil.

Enfin, dans le purgeur *Légal* (fig. 12 et 13), l'évacuation de l'eau condensée est réglée par un flotteur. Ce flotteur *a*, est creux; il est relié par le tube *b* qu'il actionne, à un axe creux *c*, percé de deux séries d'ouvertures, l'une au droit du tube *b*, l'autre au droit d'un bocal communiquant au conduit de décharge *d* (voir la fig. 14). La vapeur est admise par le robinet *v* dans la caisse renfermant le flotteur. Ce dernier restant appliqué sur le fond, les ouvertures de l'axe *c* ne correspondent pas avec celles du bocal, et la vapeur ne peut s'échapper. Lorsque la caisse se remplit d'eau condensée, le flotteur s'élève, fait tourner l'axe *c*, et ouvre la communication avec le conduit *d*. L'eau passe de l'intérieur du flotteur dans le tube *b*, traverse l'axe et se déverse au dehors. Une aiguille extérieure *f* reproduit les mouvements du flotteur; elle est munie d'une poignée permettant de vérifier le bon état de l'appareil. L'axe formant robinet est monté à chaque bout sur la pointe d'une vis de pression. Des ressorts fixés sur le tube *b* et sous le couvercle, amortissent les chocs à l'extrémité de la course. Le robinet *v* est à trois voies, ainsi que le robinet de décharge *e*. On peut les faire communiquer directement, et isoler la caisse pour la visiter, sans suspendre la purge.

On sait que dans le purgeur *Geneste-Herscher* le flotteur commande, par pignon et crémaillère, un petit tiroir d'échappement.

Enveloppes.

La quantité de chaleur perdue par les conduites varie naturellement avec l'état de leur surface, la température de la vapeur, celle de l'air extérieur, etc. Toutes choses égales, elle augmente lorsque le diamètre diminue, le rapport du volume en circulation à la surface de refroidissement devenant moindre. En pratique, la condensation par heure et par mètre carré dépasse généralement $1^{kil} 5$, et atteint quelquefois 3 kilogrammes; mais une partie de l'eau qui se dépose a été entraînée à l'état vésiculaire par la vapeur.

Il importe de protéger les tuyaux par des enveloppes non-conductrices, surtout dans les parties exposées aux intempéries. On se sert à cet effet de toutes sortes de matières: bois, paille, feutres, plâtre, sable dans des caisses, etc. On trouve aussi dans l'industrie des mélanges tout préparés de terres plastiques et de matières filamenteuses.

A l'Exposition, l'enduit *Magniat* a donné de bons résultats. On le gâche dans l'eau, et on l'étend par petites couches jusqu'à l'épaisseur de cinq centimètres. On peut l'appliquer également sur la surface des chaudières. Il a l'avantage de n'être pas combustible; de plus, il ne dissimule pas les fuites, la vapeur qui s'échappe le faisant ramollir. Les dégradations auxquelles il est exposé sont faciles à réparer.

M. Walther-Meunier, ingénieur en chef de l'Association alsacienne, l'a expérimenté sur une conduite en fer placée dans les conditions les plus défavorables. La condensation par mètre carré et par heure n'a été que de $0^k, 8$; la même conduite, sous enveloppe, donnait jusqu'à $3^k, 9$. Avec des tuyaux de fonte, les résultats seraient à peu près les mêmes. L'économie due aux revêtements est beaucoup moindre pour les conduites en cuivre, en raison du faible pouvoir émissif de ce métal.

IV

CONSTRUCTIONS ANNEXES

FOYERS

En pratique, tout foyer, même extérieur, joue à la fois le rôle de chambre de combustion et de carneau de chauffage. Il est certes très rationnel d'utiliser ainsi la transmission inévitable de la température aux parois, mais il importe de bien distinguer ces deux opérations : développement, puis absorption de la chaleur, parce qu'elles sont influencées d'une manière différente par les circonstances communes où elles ont lieu. Par exemple, au point de vue de l'échauffement rapide de l'eau, il y a intérêt à rapprocher la surface de chauffe de la source de chaleur, tandis que pour obtenir un plus grand nombre de calories, on est conduit à éloigner la chaudière de la grille. La forme et les dimensions d'un foyer devraient être telles que le gain à espérer par une combustion plus parfaite entraînât une perte plus grande par déperdition, et inversement. L'expérience seule peut déterminer le point précis où ces conditions variables donnent un effet utile maximum, puisqu'il faut tenir compte, dans chaque cas, de la nature du combustible employé. Un foyer, pour être parfait, devrait donc être susceptible d'un véritable réglage. On y parvient en partie en donnant plus ou moins d'épaisseur à la couche de charbon, en admettant plus ou moins d'air soit au-dessous, soit au-dessus de la grille. Ces moyens ne sont efficaces qu'entre des limites assez restreintes, au delà desquelles le système du foyer et la nature du combustible deviennent incompatibles. Ainsi l'adoption des générateurs à circulation intérieure exclut l'emploi de houilles trop fumeuses. Le rendement y serait doublement abaissé par suite de la combustion incomplète et du dépôt de suie diminuant l'efficacité de la surface de chauffe.

Dans ces générateurs, où la déperdition extérieure n'est plus à craindre, il y a tout intérêt à donner au foyer la plus grande capacité possible. Nous avons vu que l'inflammation des carbures

distillés exigeait une température élevée maintenue pendant un certain temps. Ces conditions seront remplies si l'on retarde l'éloignement des gaz de la région de la grille. On réduira la vitesse du courant de deux manières : en diminuant la masse à débiter (de là l'avantage de la combustion lente), et en augmentant la section de passage, c'est-à-dire les dimensions du foyer. Si ce dernier est tubulaire et horizontal, le rapport

$$\frac{\frac{\pi}{4} d^2 l}{d l} = \frac{\pi}{4} d$$

de sa capacité à l'étendue de la grille décroît rapidement avec le diamètre ; aussi, pour les petits appareils, préfère-t-on disposer le foyer verticalement.

Une grande hauteur au-dessus de la grille est encore favorable au mélange des gaz combustibles et combustibles, ainsi qu'à la conservation des tôles exposées au coup de feu. Dans le but de protéger ces tôles, on les a quelquefois tapissées d'une couche de briques réfractaires (telle était, par exemple, la disposition de la chaudière à foyer intérieur exposée à Vienne, en 1873, par la maison Chevalier Grenier) ; ce que nous venons de dire explique pourquoi ces revêtements, d'un entretien difficile du reste, ont toujours été abandonnés.

On remarquait à l'Exposition les foyers circulaires en tôle ondulée, de *M. S. Fox*, de Leeds. Ils présentent une plus grande résistance à l'écrasement, et leur élasticité atténue les effets de la dilatation ; leur prix de revient, nécessairement très élevé, est le principal obstacle à la généralisation de leur emploi.

Portes.

Le principe de la plupart des dispositifs fumivores consiste dans l'injection d'une certaine quantité d'air au-dessus de la grille. La porte de chargement est souvent munie à cet effet d'un petit registre, dont l'ouverture devrait être réglée suivant la proportion des gaz à brûler, c'est-à-dire décroître à mesure que la distillation s'opère, et devenir nulle pendant la période d'incandescence du coke. Il est difficile d'exiger du chauffeur autant de précaution, aussi a-t-on cherché à obtenir une fermeture automatique du registre d'admission d'air. La disposition imaginée par *M. Prideaux* atteint parfaitement le but, mais elle n'a obtenu en France qu'un succès d'estime. Elle a mieux réussi en Angleterre, où les industriels semblent plus disposés à supporter des frais d'établissement et de licence, en vue d'une économie même aléatoire.

On trouvera à la planche XXVIII (fig 15 à 19) une modification du système *Prideaux*, installée à l'Exposition par *M. A. Howatson*. Sur la porte de chargement est boulonnée une boîte *a*, renfermant une certaine quantité de mercure, et dans laquelle se meut une capsule dont le fond est percé de deux petites ouvertures *o*. Un prolongement *b* du couvercle de la boîte sert de guide à la tige centrale *c* de la capsule. Cette tige est creuse ; elle est commandée par une bielle *d*, attachée sur le registre d'admission d'air *f*, s'ouvrant de bas en haut. Sur son axe de rotation, est fixé le crochet de fermeture de la porte, manœuvré par le levier *i*. Lorsque le registre est fermé, le mercure remplit la capsule, qui repose sur le fond de la boîte. En soulevant le levier *i* pour ouvrir la porte, le registre se lève, entraîne la capsule, et le mercure refoulé par le prolongement du couvercle, passe dans le fond de la boîte. Une fois le chargement opéré et la porte refermée, on voit que le registre restera ouvert par l'effet de la résistance opposée par le mercure à la descente de la capsule. Il se

fermera progressivement à mesure que le mercure passera, à travers les ouvertures *o*, dans la capsule. Par la hauteur du mercure on déterminera la quantité d'air injectée, suivant la nature du combustible, et en faisant varier le diamètre des orifices *o*, on réglera la vitesse de descente du registre d'après la durée de la période de distillation. L'inconvénient de ce système est d'admettre une trop grande quantité d'air dans les premiers instants qui suivent le chargement.

La boîte *a* est protégée par un écran *e* contre le rayonnement de la devanture, qui risquerait de vaporiser le mercure. L'air froid est divisé audessus de la sole par un grand nombre de cloisons *g*, à travers lesquelles il s'échauffe avant d'atteindre la chaudière.

Les dégradations qui peuvent résulter de la brusque arrivée d'un flux d'air froid sur des tôles fortement chauffées, ont fait imaginer plusieurs dispositions par lesquelles l'ouverture de la porte de chargement entraîne automatiquement la fermeture du registre. L'une de ces dispositions est représentée par les figures 20 et 21 de la même planche. Elle avait été exposée en 1878 par MM. *G. Thauvoye et Dernoncourt*. Leur porte roule sur des galets devant la plaque du foyer. Un axe fixé sur cette dernière, porte une poulie *a*, reliée par la manivelle *b* et la bielle *c*. Sur la poulie s'enroule une chaîne commandant le registre, qui se ferme à mesure qu'on ouvre la porte. Le registre est en partie équilibré par le contrepoids *r*; son ouverture maximum est réglée au moyen du cadenas *g*, d'après les conditions de marche. Sa course est limitée par la position du taquet mobile *e*, contre lequel vient buter la manivelle *b*.

Dans une combinaison plus simple et moins encombrante, due à M. E. Poindron (1), la porte s'ouvre de bas en haut autour d'une charnière horizontale; elle est munie d'une poulie centrale sur laquelle s'enroule une chaîne allant au registre.

Il est peu probable que ces systèmes, ou d'autres semblables, se généralisent dans l'industrie. La solidarité établie entre la porte de chargement et le registre rend très incommoder la manœuvre de ce dernier organe, manœuvre si utile pour régulariser la marche de la chaudière. L'interruption du courant gazeux, tant que la porte reste ouverte, empêche le fourneau de se refroidir, et réalise, de ce fait, une petite économie. Mais au point de vue de la conservation des tôles, l'inconvénient qui résulte du contact de l'air froid n'est pas entièrement supprimé. Les effets de contraction se produisent surtout dans les premiers instants de l'ouverture de la porte; or, par suite de la fermeture simultanée, et non préalable, du registre, en raison aussi de la compressibilité de la masse gazeuse qui parcourt les carneaux, une certaine quantité d'air froid aura le temps de s'introduire. Cette admission sera surtout marquée avec une disposition comme celle de M. Poindron, où la porte, au début de sa rotation, décrit un arc horizontal assez grand, pour un faible déplacement vertical du registre.

Grilles.

Nous avons figuré à la planche XXIX quelques systèmes de grille exposés en 1878. Une bonne grille doit satisfaire aux conditions suivantes : offrir une grande section au passage de l'air, le distribuer aussi uniformément que possible, échapper aux causes de déformation et de destruction.

D'après la première condition, il faut chercher à augmenter le rapport de la section de passage à la surface totale. Pour cela, on ne peut accroître l'écartement des barreaux, déterminé par

(1) *Bulletin de la Société des anciens élèves des Écoles nationales d'arts et métiers*, n° 183.

la nature du combustible et la grosseur des fragments; mais on peut diminuer l'épaisseur de ces barreaux, jusqu'à la limite exigée pour leur solidité. C'est aujourd'hui la tendance générale des constructeurs. La réduction d'épaisseur procure en même temps une répartition plus égale de l'air et une protection plus efficace de la grille, puisque le périmètre réalisé par une même surface libre, augmente avec le nombre des barreaux. Les chances de déformation par suite d'une élévation exagérée de la température, disparaîtront à mesure que décroîtra le rapport de la surface supérieure d'échauffement, à celle de refroidissement; on sera donc conduit à donner plus de hauteur aux barreaux. L'avantage résultant d'une meilleure distribution de l'agent comburant est le plus considérable parce qu'il agit directement sur le rendement de l'appareil.

La combustion étant d'autant plus complète que les gaz comburants et combustibles sont plus intimement mélangés, il faudrait que l'air, très divisé, enveloppât en quelque sorte chaque fragment de charbon, au lieu d'arriver par longues lames parallèles. Cette considération a inspiré divers systèmes réalisant une section libre très sinuuse, tels que celui de M. *Newbold*, ou celui de M. *Dobson*, figuré à la planche XXIX (fig. 6 et 7). Ces barreaux remplissent bien leur but, au prix d'un accroissement insignifiant de la résistance au tirage; ils donnent lieu à moins de déchets, et sont moins exposés à se ramollir et à s'encrasser. Par contre, ils sont plus difficiles à nettoyer, et plus fragiles.

Les barreaux en fer sont plus résistants aux chocs, mais plus rapidement déformables; ils ne pourraient être appliqués dans les systèmes ondulés, où la dilatation inégale dans les différents points de la grille, rendrait bientôt illusoire la répartition uniforme de l'air. Cet inconvénient disparaît, lorsqu'on alterne les barreaux ondulés avec des barreaux droits, comme dans le système *Belleville* (pl. VI. fig. 9 et 10); le déplacement relatif des parties ondulées dans le sens de la longueur, ne peut plus déterminer la fermeture des intervalles.

Les déformations des barreaux sont la conséquence de leur échauffement excessif et très inégal, puisqu'il a lieu surtout par la surface supérieure. Quelques ingénieurs ont imaginé d'isoler en quelque sorte cette surface, afin de mieux la refroidir, et de la laisser se dilater librement; il suffit pour cela de la constituer par une série d'appendices séparés, venus de fonte sur la longueur du barreau. Dans le système de M. *Héron*, les appendices sont de petits prismes droits, à section carrée, de 0^m, 022 de côté, laissant entre eux un intervalle de 0^m, 008. La disposition de M. *Holroyd Smith* (pl. XXIX, fig. 3 à 5) est plus conforme au principe du système. Les appendices en forme de pyramides hexagonales renversées, réalisent, à volume égal, une plus grande surface de refroidissement. La base supérieure est évidée, pour diminuer encore les points de contact avec le combustible. Dans les deux systèmes, la position des têtes est alternée d'un barreau à l'autre.

Les figures 1 et 2 de la même planche représentent le *tisonnier Wackernie*, qui était appliqué, à l'Exposition, à l'un des générateurs de la C^{ie} de Fives-Lille. Les barreaux de grille sont assemblés par groupes de trois. Deux axes transversaux *a* et *b*, supportent à l'avant, l'un l'extrémité des groupes de rang pair, l'autre celle des groupes de rang impair. Le premier axe est fixe; l'autre est soutenu par deux leviers coudés, tournant avec l'arbre *c*. La même disposition se reproduit à l'arrière, mais ce sont les groupes de rang impair qui reposent sur l'axe fixe *a'*, et ceux de rang pair sur l'axe mobile *b'*. Les leviers coudés de l'arbre *c'* sont reliés par les bielles *d* aux leviers *c*; enfin, à l'un de ces derniers est fixée la tige *d'*, suspendue au boulon *f*, et terminée par une poignée. Sans ouvrir la porte, le chauffeur en agissant sur la poignée, fait basculer en sens inverse les groupes de barreaux consécutifs, et détermine l'arrachement des masses de scories qui les empêtent. L'entretien de la grille devient ainsi beaucoup moins pénible. Des systèmes analogues ont

souvent donné, en France et en Angleterre, d'excellents résultats aux essais, surtout avec des houilles très collantes. La difficulté de les maintenir en bon état les a fait presque toujours abandonner à la longue.

RÉCHAUFFEURS

L'échauffement préalable de l'eau d'alimentation, à l'aide des chaleurs perdues par les gaz, ou de la vapeur d'échappement, n'a pas seulement pour avantage d'augmenter le rendement des générateurs, mais encore d'améliorer leurs conditions d'entretien. L'eau arrive en grande partie débarrassée de ses sels incrustants, et comme sa température est moins différente de celle des tôles, les effets destructeurs des contractions brusques sont moins à craindre.

L'efficacité d'un réchauffeur placé sur le passage des gaz, dépendra avant tout de leur température, c'est-à-dire qu'elle sera d'autant plus grande que la chaudière utilise mal la chaleur du foyer; elle dépendra aussi des dispositions particulières du réchauffeur. Il devra être rencontré perpendiculairement par le courant gazeux, et offrir une grande surface de chauffe, toujours maintenue bien propre. La fonte doit être préférée au fer, en prévision des corrosions dues à la présence de vapeur d'eau et d'acide sulfureux dans les fumées. Au point de vue de l'accumulation des dépôts intérieurs et extérieurs, la position horizontale adoptée dans les réchauffeurs Sulzer (pl. XIV) et Schmid (pl. XXIII) semble moins avantageuse, mais la verticalité des tubes n'empêche nullement leur encrassement par les suies. Aussi dans l'*économiseur de Green*, à l'Exposition, à la suite des chaudières Galloway, chaque tube était-il entouré d'un manchon auquel un mécanisme installé au-dessus transmettait un mouvement de va-et-vient continu, et qui opérait un grattage continu de la surface de chauffe.

Le réchauffeur de MM. A. Büttner et C^{ie} à Uerdingen-sur-le-Rhin, représenté à la planche XXIX (fig. 8 à 11), offre la même disposition générale que le système Green. La seule particularité consiste dans les ailettes venues de fonte sur la longueur des tubes, et destinées à faire servir la conductibilité du métal à un plus grand refroidissement de la masse gazeuse. Celle-ci se meut de haut en bas, en sens inverse de l'eau; le chauffage est donc méthodique. Le caisson dans lequel débouchent les trois collecteurs inférieurs est muni d'un tuyau de purge. De nombreux tampons de nettoyage sont ménagés sur la plaque supérieure. En cas de réparations au réchauffeur, la chaudière peut être alimentée directement par les pompes.

CHEMINÉES

Cheminée en tôle de la C^e de Fives-Lille (Nord).

Dans une installation aussi provisoire que celle de l'Exposition, il était assez rationnel de se décider pour l'installation plus rapide et moins coûteuse d'une cheminée en tôle, qu'il était possible d'utiliser ensuite sur un autre point. L'inconvénient reproché à l'emploi de la tôle, c'est-à-dire les corrosions par l'effet des gaz et des eaux pluviales, ne pouvait avoir d'importance pour un fonctionnement de six mois. L'ensemble et les détails de la cheminée sont représentés sur la planche XXIX, figures 12 à 16; ses fondations figurent sur la planche X, consacrée à l'installation générale du groupe.

La partie en tôle, de 28 mètres de longueur, et dont le diamètre intérieur au sommet est de 0^m, 900, est composée de 25 viroles légèrement coniques. Ces viroles sont assemblées à l'aide de couvre-joints internes; les rivures longitudinales sont disposées de la même manière. L'épaisseur des tôles varie d'un millimètre toutes les cinq viroles; elle est successivement de 0^m, 009, 0^m, 008, 0^m, 007, 0^m, 006 et 0^m, 005 dans les tronçons correspondant aux lettres *a*, *b*, *c*, *d*, et *e*. La pièce emboutie qui forme le couronnement n'a que 0^m, 004 d'épaisseur. La virole inférieure, de 1^m, 350 de diamètre intérieur, vient se boulonner, à l'aide d'une forte cornière, sur un piédestal en fonte de forme évasée, dont la partie inférieure est traversée par six boulons de fondation. Ces boulons sont retenus à l'autre bout par des entretoises noyées dans la maçonnerie. Le massif a trois mètres de haut et cinq mètres de diamètre, sauf la partie moins large qui sert de base au piédestal; il est traversé par un puits central de un mètre de diamètre, dans lequel débouchent les carreaux venant des chaudières.

L'aspect général est des plus satisfaisants; le piédestal paraît seulement un peu bas relativement à la hauteur de la cheminée. L'assemblage des viroles à couvre-joint est d'un meilleur effet que les recouvrements.

La stabilité est parfaitement assurée sans emploi de haubans. On peut s'en rendre compte de la manière suivante: soit *P* la pression totale du vent, *h* la hauteur de la cheminée, *p* son poids, *d* le diamètre extérieur à la base, *F* la résultante des efforts sur les boulons de fondation, *l* la distance de son point d'application à l'axe de renversement. On doit avoir :

$$P \frac{h}{2} \leq p \frac{d}{2} + Fl \quad \text{et} \quad Fl > \frac{Ph - Pd}{2}$$

Pour un petit déplacement de la base, chaque boulon s'allongerait d'autant plus qu'il est plus éloigné de la tangente à cette base qui est perpendiculaire au vent; c'est-à-dire que la force *F* est

répartie sur les boulons proportionnellement à leur distance de l'axe de renversement. Prenons le cas le plus défavorable, celui où la direction du vent est parallèle au diamètre mené par l'un des boulons, qui se trouve soumis à l'effort maximum. Cet effort, en appelant d' le diamètre du cercle passant par les six boulons, est une fraction de F égale à :

$$\frac{d' + \frac{d - d'}{2}}{3 d' + 6 \frac{d - d'}{2}}; \text{ son moment est } \frac{1}{3} \frac{F}{d} \left(d' + \frac{d - d'}{2} \right)^2$$

La stabilité subsistera à *fortiori* si elle est démontrée lorsqu'on suppose le diamètre de la base égal seulement à d' ; la somme des six moments se réduit alors à :

$$\frac{1}{3} F d' + 2 \times \frac{3}{12} F \times \frac{3}{4} d' + 2 \times \frac{1}{12} F \times \frac{1}{4} d' = \frac{3}{4} F d' = F l$$

d'où :

$$F = \frac{2}{3} \times \frac{P h - p d}{d'} \text{ et pour l'effort maximum : } f = \frac{4}{3} F = \frac{2}{9} \cdot \frac{P h - p d}{d'}$$

Pour la pression du vent, on comptera 100 kilogrammes par mètre carré de la projection verticale de la cheminée, ce qui correspond, pour une surface plane, à une pression double, exercée normalement par un ouragan d'une quarantaine de mètres de vitesse. La superficie de la projection de la cheminée est d'environ 35 mètres carrés; le poids p (tôle et socle en fonte) peut être évalué à 8 tonnes. Ainsi, le boulon le plus chargé supportera

$$\frac{3}{9} \times \frac{35 \times 100 \times 30 - 8000 \times 2,650}{2,250} = 8277 \text{ kil.}$$

Sa section est de 0^{ma},001962; il travaille donc à moins de 4^{kl},22 par millimètre carré.

La solidité de l'attache des boulons est assurée par la charge considérable qui pèse sur les entretoises noyées dans la maçonnerie. Le moment de stabilité de cette charge (maçonnerie, socle et cheminée) est égal à plus de trois fois le moment de renversement autour de l'arête inférieure du massif de moellons.

La fatigue due à la flexion est :

$$R = \frac{v \mu}{l} = \frac{32 \times 1,368 \times 3500 \times 14}{3,14 (1,368^4 - 1,350^4)} = 4 \text{ kilog., 05 par millimètre carré.}$$

pour les fibres les plus chargées, au point d'attache sur le socle.

De plus, ces fibres éprouvent, par l'effet du poids de la cheminée, évalué environ à 5 tonnes et demie, une compression de :

$$\frac{5500 \times 4}{3,14 (1,368^2 - 1,350^2)} = 0 \text{ kil., 15; soit une charge maximum de 4^{kl},2.}$$

La flèche de la cheminée est égale à :

$$\frac{P l^3}{81 E} = \frac{64 \times 3500 \times 28^3}{8 \times 3,14 (1,368^4 - 1,350^4) \times 20 \times 10^9} = 0^m,058$$

Tous ces nombres sont des maxima, bien supérieurs aux résultats correspondant aux conditions réelles.

Cheminées en briques.

Des neuf cheminées en briques élevées à l'Exposition de 1878, cinq avaient été construites par MM. Cordier & fils, parmi lesquelles celle du groupe de la Société centrale de construction de Pantin, et celles du groupe Boyer, sont représentées par les figures 1 et 5 de la planche XXX. La première était admirée pour sa forme simple et élégante. Elle ne comportait pas de socle, mais seulement, à partir de quelques mètres de la base, un accroissement progressif du fruit, éveillant l'idée d'égale résistance, bien qu'il ne fût en réalité qu'un motif d'ornement. A partir de l'astragale, un élargissement analogue formait le couronnement. La cheminée reposait sur une base de 0^m80; elle se composait de cinq tronçons, en retrait à l'intérieur, les deux du bas de cinq mètres de longueur chacun, les autres de huit mètres.

Nous avouons notre préférence pour cette forme de cheminée, précisément parce qu'elle s'éloigne de la disposition ordinaire en colonne, avec piédestal et chapiteau très chargés. C'est un principe en architecture, que toute construction doit rappeler, par son aspect, sa destination; or une cheminée n'a rien à porter, elle doit être aussi légère et aussi élancée que possible. Si on veut lui faire exprimer une idée quelconque, ce ne doit être que celle d'une émanation souterraine. Ajoutons à propos de la cheminée de MM. Cordier, que la base cylindrique s'étant trouvée recouverte à la suite d'un nivellement ultérieur du parc, l'aspect du profil courbe, que la pensée continuait au-dessous du sol, n'en parut que plus satisfaisant.

Dans le choix des motifs d'ornementation, les architectes sont généralement guidés par le même principe: ils se servent des diverses saillies et moulures extérieures pour indiquer la disposition intérieure des différentes parties de l'édifice et leur mode de construction, approprié à la destination générale. A ce point de vue, on comprend l'application sur le pourtour d'une cheminée de toutes sortes de bandes et anneaux de renfort, par exemple au droit de chaque joint des tronçons successifs: mais on peut se demander si les corniches, qui éveillent l'idée d'un plancher, les denticules, qui correspondent à des chevrons, et autres ornements imités des constructions en charpente, ont leur raison d'être dans la décoration d'un cylindre dont la particularité essentielle est d'être creux.

En général, il est bon de ne pas abuser des moulures et autres ornements, tels que les dessins quelquefois enfantins, obtenus le long du fût au moyen de briques de couleur différente. L'absence de toute parure de ce genre donnait à la cheminée Cordier le caractère simple et sérieux qui convient à une construction industrielle.

La cheminée du groupe Boyer (fig. 5), plus monumentale et très ornementée, avait une hauteur plus grande, un diamètre au sommet plus faible, et un fruit plus prononcé que la précédente. Elle était comme celle-ci composée de cinq tronçons, mais ceux du haut avaient une longueur moindre, c'est-à-dire que l'épaisseur croissait plus rapidement à partir du sommet. En ne considérant que la résistance à l'écrasement, le contraire aurait dû avoir lieu, puisque, à égale distance de l'extrémité supérieure, une assise est d'autant moins chargée que le fruit est plus grand; mais au point de vue de l'arrachement, si la pression exercée par le vent diminue avec le diamètre extérieur, l'adhérence des assises décroît avec leur section transversale, dont l'expression renferme le diamètre au carré. Même à diamètre égal, il convient d'augmenter l'épaisseur des tronçons du haut lorsque la cheminée est plus longue, et, par suite, exposée à des vents plus rapides. Ces deux circonstances concourent

à accroître le moment de flexion, tandis que le moment de stabilité tend à diminuer pour les assises supérieures, en raison de la flèche très sensible au sommet.

Les produits de la combustion arrivant par deux conduits différents au pied de la cheminée, une cloison verticale empêchait les courants de se contrarier. Un petit puits en contre-bas des carneaux recueillait la suie et les cendres entraînées.

M. Joachim avait construit à l'Exposition la cheminée du groupe de l'Autriche-Hongrie et celle du groupe Suisse-Belge. Cette dernière est représentée par la figure 4 (pl. XXX). Son aspect général est très satisfaisant, et certains motifs d'ornementation sont assez heureux, par exemple le socle octogonal avec contreforts étagés, la base du fût ornée de cannelures de couleur plus sombre que les briques saillantes, etc. Les deux moulures situées vers le milieu de la hauteur totale sont d'un bon effet, parce qu'elles semblent destinées à consolider la jonction des deux tronçons du fût. En réalité cette jonction est placée beaucoup plus haut, le tronçon inférieur ayant reçu une longueur qui paraît exagérée.

Dans sa série de cheminées pour chaudières de 13 à 470 chevaux, établie en comptant par décimètre carré de grille sur une consommation de 0^k, 5 de charbon et une force de 1/6 de cheval, M. Joachim donne à la section intérieure au sommet le quart de la surface de la grille. Ce rapport est plutôt un peu fort pour une combustion aussi lente, mais dans le cas actuel il aurait conduit à donner à la cheminée des proportions beaucoup plus grandes, si toutes les chaudières du groupe Suisse-Belge avaient dû fonctionner à la fois.

La cheminée du groupe Chevalier-Grenier avait été élevée par M. Vassivière fils, constructeur à Lyon. Cette cheminée (fig. 2) est bien élancée, mais le socle paraît un peu maigre, par suite de la double corniche qui le surcharge. L'épaisseur du tronçon supérieur n'est que d'une demi-brique, ce qui, pour une installation permanente, semblerait insuffisant. La construction s'est effectuée très rapidement; on sait que M. Vassivière élève les matériaux par l'extérieur de la cheminée, à l'aide d'une grue mobile, attachée aux barreaux que l'on encastre à mesure dans la maçonnerie.

La cheminée du groupe Belleville (fig. 3) ne visait à aucun effet architectural, et se rapprochait davantage des types communément installés dans les usines. Simple et solide d'aspect, elle avait été calculée pour un grand débit. Le prolongement du fût au-dessus du chapiteau est d'une utilité contestable lorsque la cheminée ne dessert que des chaudières. Dès que ce prolongement est un peu élevé, on ne comprend plus la nécessité (toute d'apparence du reste) d'un chapiteau.

Les fondations des cheminées se terminaient par un massif de béton, reposant sur la couche de sable d'alluvion qui portait tout le Palais. Cette couche étant naturellement inclinée vers la Seine, la profondeur des fondations dépendait de la situation de chaque cheminée dans le Champ de Mars.

Le tableau suivant résume les proportions principales des six cheminées.

Groupes.....	Sté-Centrale	Boyer.	Suisse.	Chev.Grenier	Belleville.	Fives-Lille.
Hauteur de la cheminée depuis le pied des carneaux.....	35 ^m ,77	39 ^m ,00	32 ^m ,00	34 ^m ,00	30 ^m ,00	32 ^m ,00
Diamètre intérieur au sommet	0 ,90	0 ,875	1 ,00	0 ,95	1 ,20	0 ,90
Fruit.....	0 ,023	0 ,027	0 ,030	0 ,028	0 ,039	0 ,0008
Rapport de la hauteur au diamètre au sommet.....	39 ,7	44 ,6	32	35 ,8	25	35 ,6
Rapport de la section au sommet à la surface de grille..	0 ,463	0 ,158	0 ,066	0 ,09	0 ,094	0 ,145

On voit que les constructeurs sont loin d'être d'accord sur les proportions à donner aux cheminées d'usine. C'est là une de ces questions controversées, auxquelles nous faisions allusion en tête de l'ouvrage, et qu'il eût été possible d'élucider à l'Exposition, en profitant de l'installation simultanée et provisoire d'une collection de cheminées dont on pouvait régler les dispositions à volonté.

Théoriquement, il y a toujours avantage à augmenter le diamètre et diminuer la hauteur, puisque le tirage augmente proportionnellement à ce diamètre, et seulement en raison de la racine carrée de la hauteur. En pratique, la section ne doit pas devenir par trop grande, sous peine de donner lieu à des courants parasites dans la masse gazeuse, et à un refroidissement plus rapide. (Refroidissement très marqué pour les cheminées en tôle.) On pourrait augmenter la vitesse de sortie de l'air en rétrécissant l'orifice supérieur, tout en conservant un fort diamètre à la cheminée, de manière à réduire les frottements. On donne toujours un excès de tirage, sauf à le régler au moyen du registre.

ABRIS

Les bâtiments qui abritaient les chaudières à l'Exposition étaient les uns ouverts latéralement, comme ceux des groupes Chevalier-Grenier et Belleville (pl. VI), les autres complètement fermés, analogues à ceux habituellement usités dans l'industrie pour les générateurs classés dans la première catégorie. Tels étaient celui du groupe Boyer (pl. III et IV), celui du groupe de la Société Centrale de Pantin (pl. VIII), celui de la C^{ie} de Fives-Lille (pl. X).

De ces abris, le mieux réussi paraît être celui du groupe Boyer, construit par MM. Waaser et Bougleux, d'après un type étudié par M. L. Caen et M. E. Parent, ingénieurs, attachés au Service des machines. Ce bâtiment, de 15 mètres de longueur sur 9 mètres de large, repose sur un soubassement couronné par un bandeau en pierre de taille, sur lequel s'appuient les montants des cinq fermes du comble. Les intervalles sont remplis par des cloisons en briques encadrées par des entretoises longitudinales. Au-dessus, est disposé un vitrage, de un mètre de hauteur, et couronné par un second cours d'entretoises. Ce vitrage se continue sur les deux pignons, également formés de cloisons en briques encadrées par des montants et des entretoises. Le pignon principal est muni d'une porte vitrée, à deux battants, de laquelle on descend par un escalier jusqu'à l'enfer du chauffeur.

Les combles sont en bois et fer; les sablières, pannes et chevrons sont en bois. Les deux travées centrales sont surmontées d'un lanterneau en bois, attaché aux fermes, et garni de persiennes. La couverture est en tuiles mécaniques, genre Montchanin, posées sur tasseaux et voliges. A la partie inférieure de chacun des pans du toit, est disposé un chéneau en zinc, décoré par un lambrequin. Sur le pignon, l'intervalle entre le vitrage et le faîte est rempli par un cloisonnement en bois découpé. Cet abri était d'une construction très soignée, toutes les boiseries en sapin neuf,

les parements apparents bien lavés. Les montants et les entretoises étaient chanfreinés. Les parements de maçonnerie furent rejointoyés après la construction. Des descentes pour les eaux pluviales étaient placées aux quatre angles du bâtiment.

L'abri des chaudières de la Société Centrale, construit par M. O. André, est aussi bien disposé et très léger. Toute la charpente, montants, fermes, entretoises, etc., est en fer; les intervalles sont remplis par des briques ou des vitrages. La toiture est formée de tuiles métalliques. Le bâtiment ne porte pas de lanterneau.

Quelques personnes recommandent de maintenir une température très élevée autour des chaudières, afin de diminuer les pertes de chaleur. Le mieux est de chercher à incommoder le moins possible le chauffeur, dont la bonne volonté a beaucoup plus d'influence sur le rendement que la déperdition extérieure.

ALTÉRATIONS DES GÉNÉRATEURS

Pour terminer, nous signalerons à l'Exposition de 1878 une intéressante collection réunie par les soins des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur (associations qui ont déjà rendu tant de services, et que le décret du 1^{er} mai 1880 a investies d'une réelle autorité). Cette collection, composée de fragments détachés en divers points des générateurs, faisait ressortir les défauts et accidents auxquels ils sont exposés. Nous en dirons seulement quelques mots, renvoyant pour plus de détails aux rapports des ingénieurs spéciaux, notamment M. Cornut, ingénieur en chef de l'Association du Nord.

La durée d'une chaudière, lorsqu'elle n'est pas brusquement abrégée par une explosion, est limitée à la longue par l'effet de dislocations partielles et d'une lente usure. De toute manière, la mise hors de service résulte toujours d'une rupture d'équilibre entre les forces agissant à l'intérieur des parois et la résistance que celles-ci leur opposent. Ces forces sont d'abord la pression de la vapeur, dont l'action est générale et tend à augmenter l'étendue et la gravité des accidents où elle se manifeste; puis la dilatation inégale des diverses pièces, dont l'action est plus locale, et donne lieu surtout à des fuites et des cassures aux assemblages.

La diminution de résistance des tôles peut être le fait de la qualité du métal ou des élaborations successives auxquelles il a été soumis, soit à la forge, soit à l'atelier de chaudronnerie (pailles, fissures aux emboutissages, amincissements, rivets mal posés, etc.). Elle est occasionnée aussi par les dilatations et contractions successives dans les parties exposées à des variations de température. Elle peut résulter d'une surchauffe accidentelle, lorsque les parois cessent d'être rafraîchies par l'eau, à la suite soit d'un abaissement exagéré du niveau, soit de la formation d'un dépôt. Enfin elle sera la conséquence inévitable des corrosions déterminées à l'extérieur par l'humidité et l'acidité des fumées, à l'intérieur par les agents oxydants apportés par l'eau d'alimentation. Tous ces effets

se multiplient en se superposant; c'est ainsi que les fentes produites par des dilatations inégales deviennent de préférence le siège de corrosions rapides.

L'action des eaux acidifiées, par exemple au contact de pyrites en décomposition, ou bien, à l'intérieur du générateur, par la mise en liberté de l'acide chlorhydrique du chlorure de magnésium, se fait principalement sentir sur les tôles voisines du plan d'eau, sans cesse tapissées d'une couche de liqueur acide, qui se concentre à mesure qu'elle s'évapore. D'autres agents corrosifs exercent leurs ravages en divers points de la paroi, et notamment dans la région du coup de feu. Telles sont les matières grasses entraînées dans les chaudières qu'on alimente avec les eaux de condensation; ces matières en se décomposant, abandonnent des acides gras qui attaquent le fer, comme l'ont prouvé le professeur Stingl de Vienne, et le professeur Wartha de Buda-Pesth (1).

Lorsqu'on emploie simultanément de l'eau condensée et de l'eau naturelle les acides gras se combinent avec les bases des sels de l'eau, et forment des savons dont les propriétés, d'après les recherches de M. G. Pereyra, ingénieur des mines (2), varient suivant la teneur en matières grasses. Si cette teneur est élevée, le dépôt calcograisseux est corrosif, il adhère aux parois, les isole et détermine leur surchauffe; si elle est faible (de 0, 2 à 16 0/0) le dépôt n'est plus adhérent, mais il rend l'eau très émulsive, ce qui diminue son pouvoir absorbant, c'est-à-dire son action protectrice sur les tôles; enfin lorsque le savon peu acide se forme à basse pression, il ne paraît pas communiquer à l'eau de propriété émulsive. La disparition de cette propriété, lorsque la quantité de matière grasse augmente, semble plus compréhensible si l'on se rappelle que même les oléates alcalins perdent leur solubilité en devenant acides. L'émulsion est bien due à la présence des matières grasses, car elle n'a plus lieu si le dépôt recueilli est calciné, puis introduit de nouveau dans le liquide; il en est de même si le dépôt resté est longtemps exposé aux intempéries de l'air, dont l'action oxydante sur l'oléine est connue.

L'oxygène de l'air dissous dans l'eau alimentaire ou entraîné par l'injecteur est encore une cause de corrosions, activées par les conditions d'humidité et de température où elles se produisent, et aussi par la présence de l'acide carbonique de l'eau (expériences de MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Doflhus à Mulhouse, et du professeur Crau-Calvert à Manchester) (3). D'après les observations récentes de M. Lordin (4), sur un fil de fer placé dans des tubes scellés, la proportion d'oxygène dissous qui est absorbé par mètre carré et par heure, à 100°, serait de 1^{er}, 65 avec l'eau distillée, et de 1^{er}, 80 avec de l'eau calcaire. De plus, il y a décomposition de l'eau par le fer, et absorption d'une nouvelle quantité d'oxygène. A 125°, cette quantité serait de 0^{er}, 047 avec de l'eau calcaire; elle devient plus grande si l'eau contient des chlorures.

Dans la détermination des formes et des dimensions d'un générateur, on doit évidemment tenir compte de toutes les conditions particulières où il est appelé à fonctionner. En disposant les

(1) Leurs recherches, publiées dans la *Gazette polytechnique* de Dingler, ont été reproduites dans la *Revue Industrielle* (janvier et mars 1876); dans la même revue avait paru, en décembre 1875, une note sur le même sujet, par M. Maurice Jourdain, directeur de l'Association parisienne.

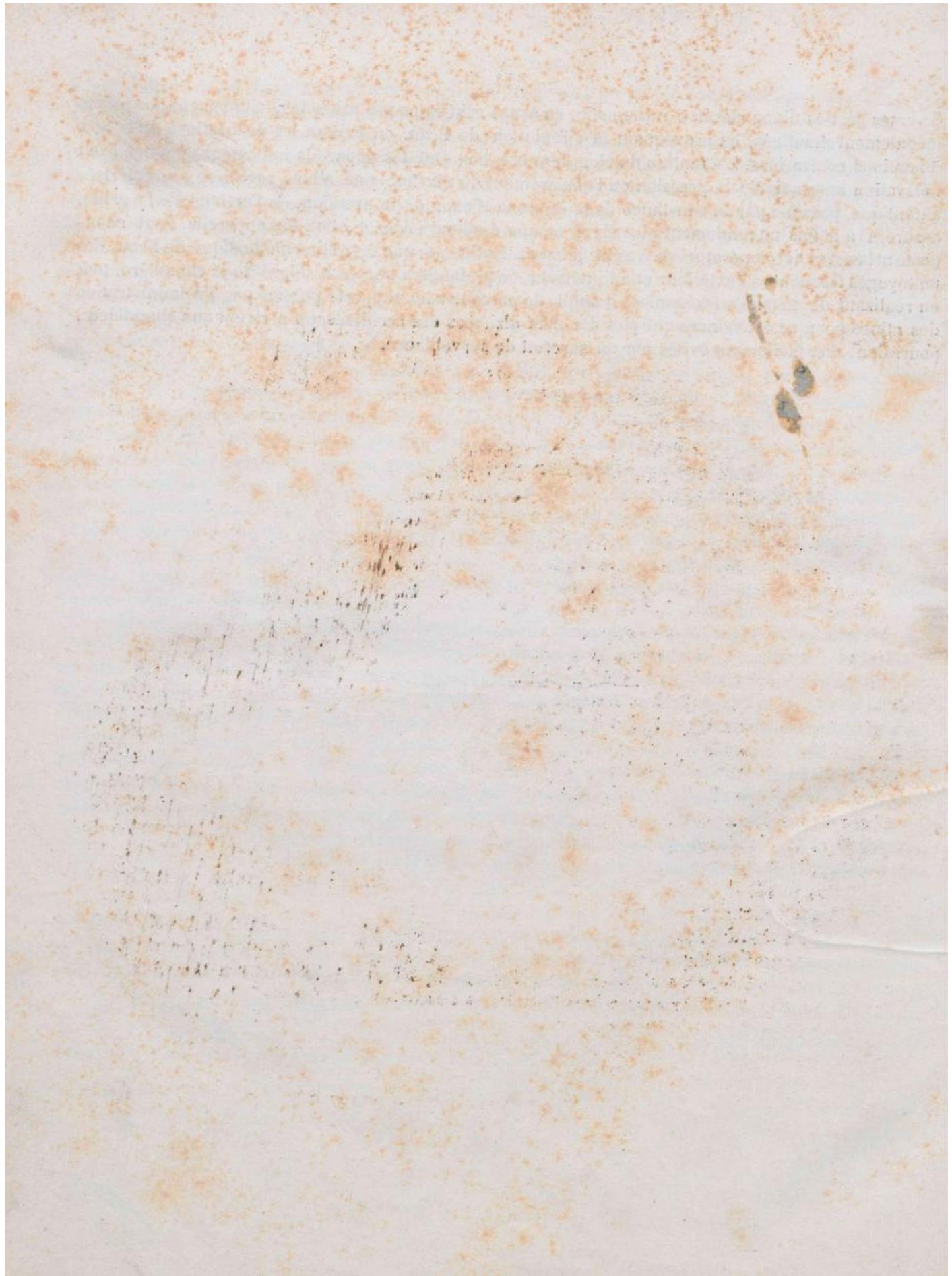
(2) *Annales des Mines*, juillet 1878.

(3) Voir le compte rendu du congrès tenu en 1877 par les ingénieurs des Associations de surveillance (communications de M. Cornut, ingénieur en chef de l'Association du Nord).

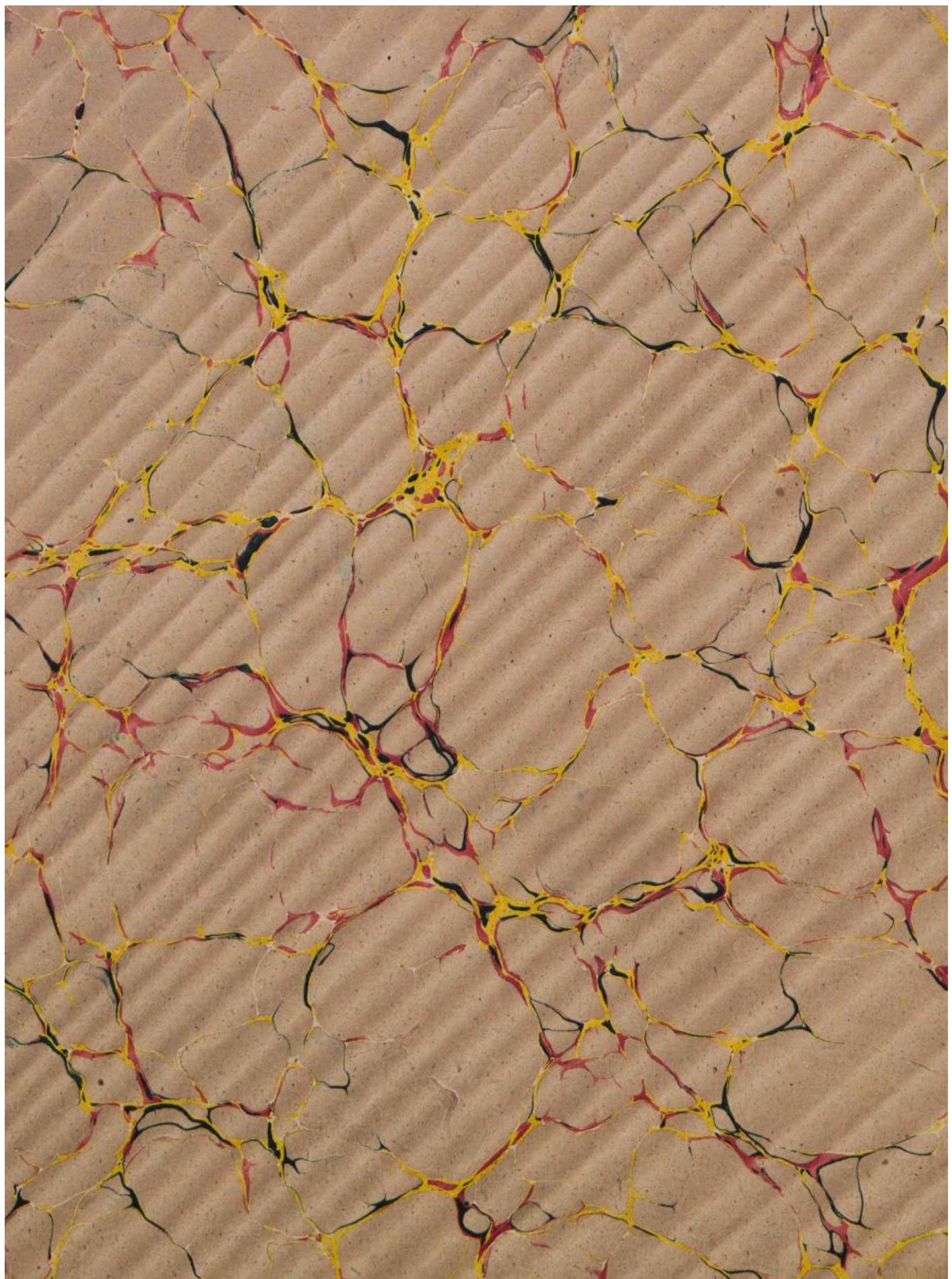
(4) V. *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (juillet 1880).

diverses parties d'une manière rationnelle, en ayant soin de ne pas relier trop rigidelement des pièces inégalement chauffées, en provoquant la circulation de l'eau, on évitera les dislocations dues aux dilatations contrariées. L'attention du chauffeur et le bon état des appareils indicateurs préviendront l'élévation anormale de la pression ou l'abaissement du niveau; une allure régulière, caractérisée autant que possible par la constance de la hauteur d'eau, de la pression, de l'activité de la grille, assurera à la fois un rendement plus élevé et une meilleure conservation des appareils. Tout changement brusque de température devra être proscrit. Enfin, par une épuration méthodique de l'eau, des nettoyages fréquents à l'extérieur et à l'intérieur, on prolongera encore la durée de la chaudière, tout en réalisant de notables économies. Il suffit de parcourir les rapports publiés par l'Administration des mines pour se convaincre que plus des neuf dizièmes des accidents qui arrivent aux chaudières, pourraient être facilement évités par un surcroit de surveillance.

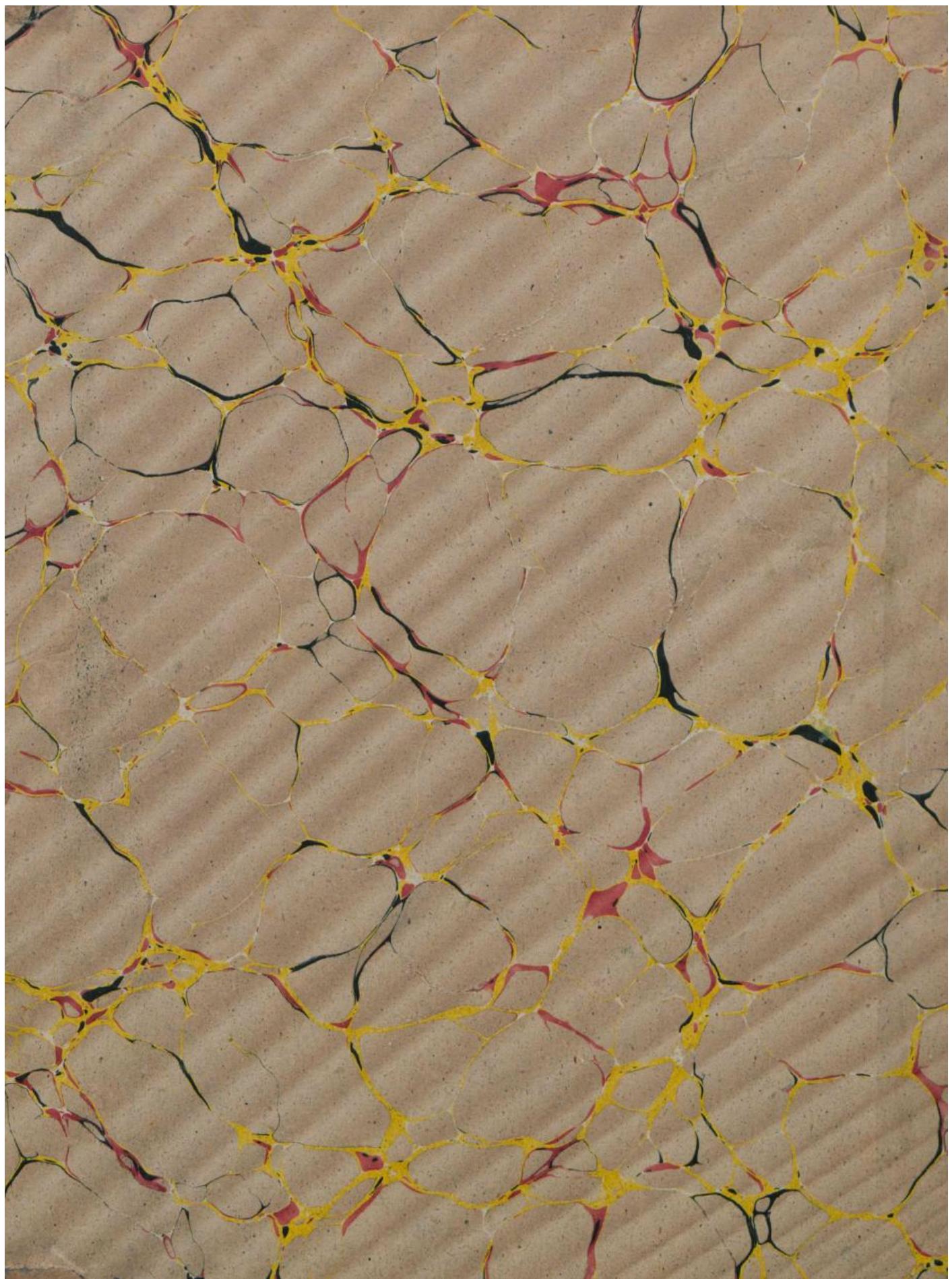




Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires