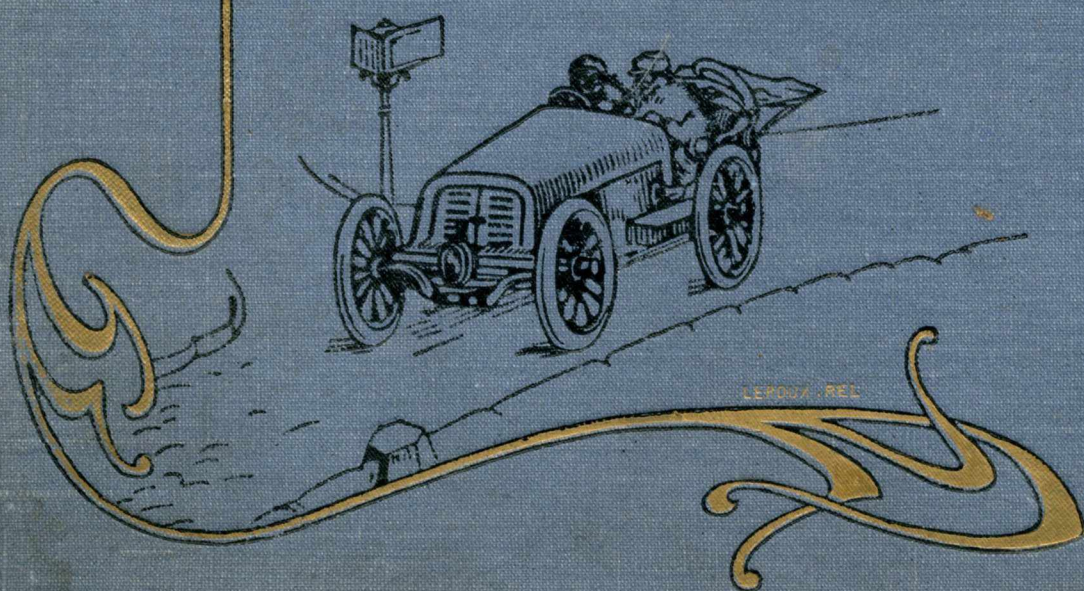




LE

MÉCANICIEN

MODERNE



Le
Mécanicien
Moderne

PAR

Un Comité d'Ingénieurs spécialistes

Premier Volume



LIBRAIRIE COMMERCIALE

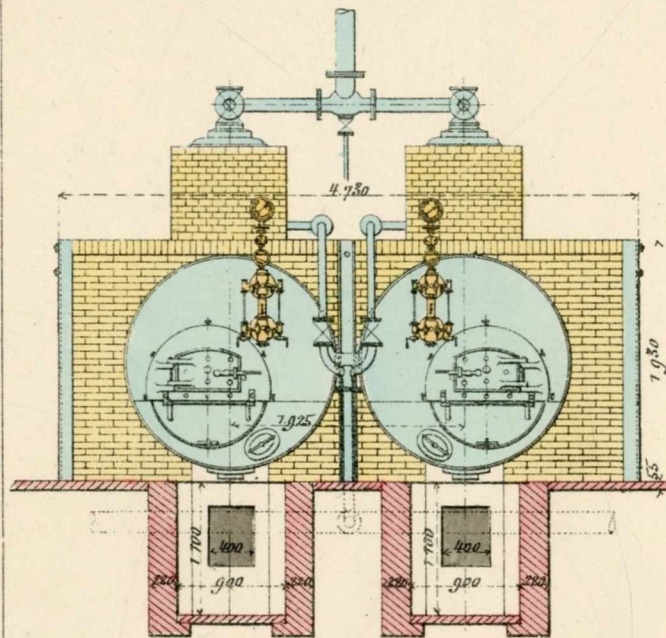
61, Rue de Chabrol, 61

PARIS

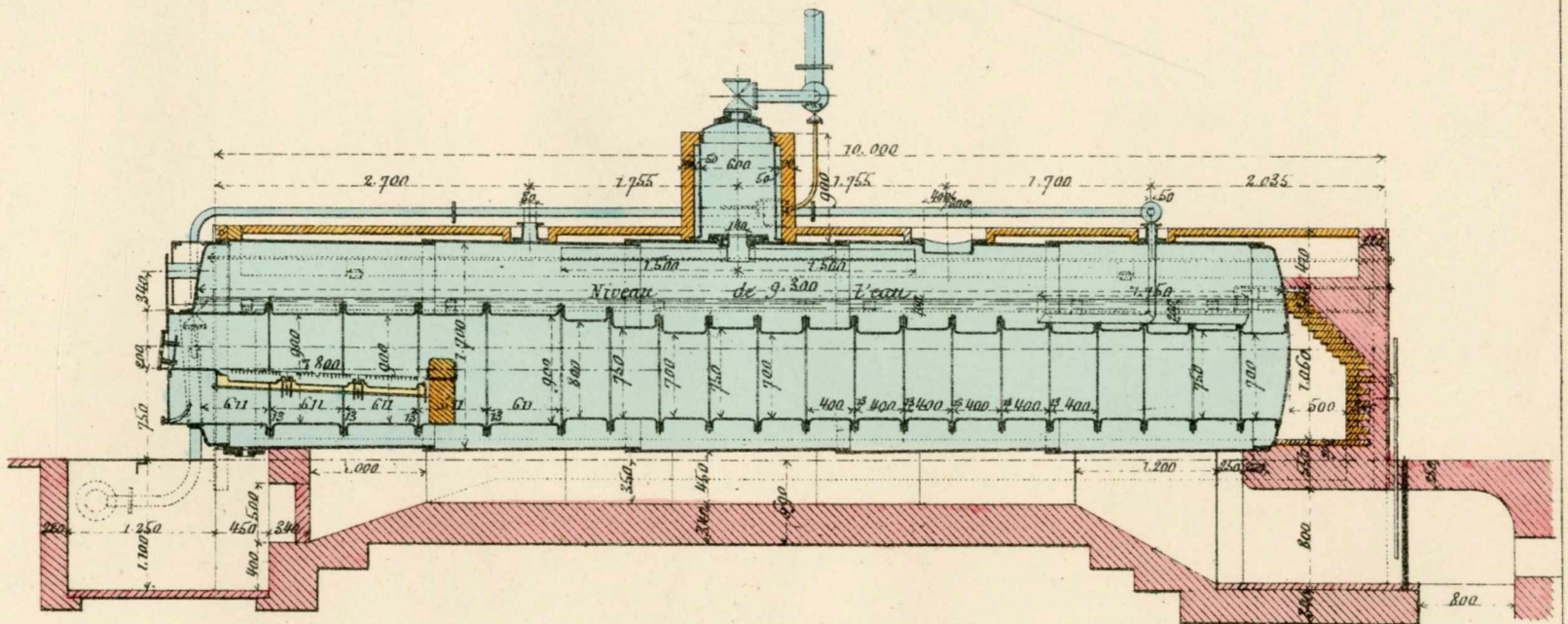
Les Chaudières

CHAUDIÈRE A VAPEUR

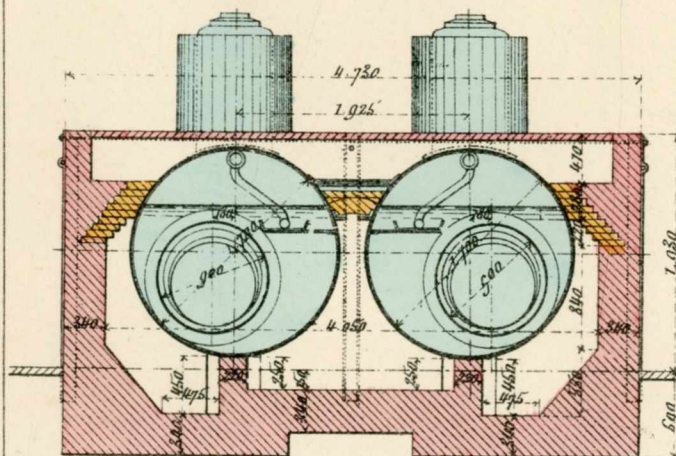
Vue de face



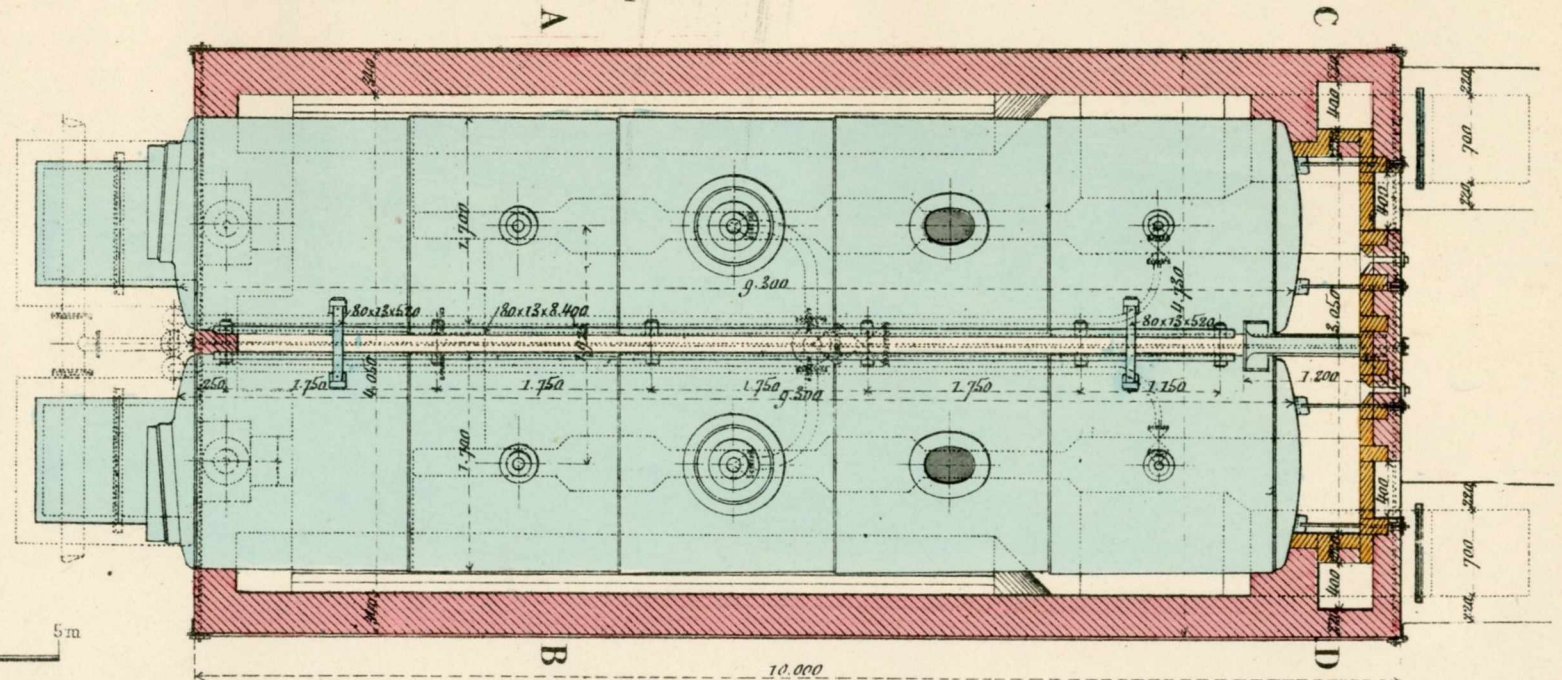
Coupe longitudinale.



Coupe AB.



Coupe horizontale.



Echelle
100 cm 0 1 2 3 4 5 m

LES CHAUDIÈRES

Fonctionnement et classification des moteurs à vapeur.

La machine à vapeur demeure, il faut le reconnaître, le producteur d'énergie de mouvement le plus répandu et le plus employé, malgré la concurrence sans cesse croissante que lui font d'autres systèmes plus simples ou procurant davantage d'économie. La vapeur est l'âme de l'industrie moderne et c'est encore à la chaudière que l'on a recours dès que l'on veut obtenir de grandes quantités d'électricité à bas prix.

Il était donc tout indiqué que nous consacrons, dans le présent ouvrage, un chapitre à l'étude de ces appareils d'un usage universel, et que, réunissant tous les renseignements épars dans de nombreux ouvrages nous donnions aux ouvriers et à toutes les personnes ayant à s'occuper, de ce genre de machines, un *vade-mecum* vraiment pratique et d'un usage constant, en un mot, le vrai catéchisme du chauffeur et du mécanicien-conducteur. Et si nous n'avons pu nous étendre comme il l'eût peut-être fallu sur certains détails, nous espérons néanmoins que notre but aura été atteint, en raison de la méthode avec laquelle nous avons classé les principes qu'il est indispensable de connaître pour tirer d'une machine à vapeur quelconque tout son effet. Nous n'avons certes pas la prétention d'apprendre, par la lecture des pages qui suivent, le métier de chauffeur ou de mécanicien à un ouvrier n'ayant pas conduit jusqu'alors de moteur ; il y a une période d'apprentissage absolument nécessaire et à laquelle le meilleur des livres ne peut suppléer, mais il peut cependant être utile d'avoir sous la main un guide auquel on peut recourir dans un cas

embarrassant ou lorsque la mémoire fait défaut. Telle est la raison d'être du présent volume, et cette explication donnée, nous entrerons de plain-pied dans notre sujet.

Nous ne rappellerons pas la genèse de la machine à vapeur actuelle. Cet historique ne se trouverait pas à sa place dans un ouvrage absolument pratique tel que celui-ci. Tout le monde se rappelle, du reste, que la découverte de la puissance élastique de la vapeur d'eau et l'invention de la première chaudière est due au Français Papin. Amélioré par les Anglais Savery et Newcomen, ce moteur rudimentaire devint un appareil réellement pratique, grâce aux perfectionnements qu'il reçut de Watt, en 1765. Depuis cette époque, il faut constater qu'on n'a fait que peu de progrès, autres que de détails, car on a continué à rendre de plus en plus intime l'union de la combustion et du chauffage, en substituant les foyers intérieurs aux foyers extérieurs et en rétrécissant constamment les fourneaux et les courants de flammes. Or, les deux fonctions, *combustion* et *chauffage*, s'accomplissant dans le même lieu, il en résulte qu'elles se nuisent l'une l'autre, car la *concentration* et la *dispersion* de la chaleur sont deux opérations impossibles à réaliser à la fois dans le même endroit. On n'a, pour s'en convaincre, qu'à observer les faits : nous voyons sortir de la fumée des cheminées et constatons un dépôt de suie dans les conduits et les tubes traversés par les flammes. C'est la preuve irréfutable que la combustion a été incomplète ou interrompue mal à propos par un chauffage prématuré, et le résultat définitif de l'emploi de ce moyen défectueux est une consommation de chaleur hors de proportion avec l'énergie obtenue et mesurée sur l'arbre de transmission.

Le moteur à vapeur n'est en réalité qu'un transformateur : on lui fournit de la houille qui n'est autre chose que de la chaleur solaire condensée, suivant l'expression de Stephenson, et il rend ce calorique sous forme de mouvement. Les travaux de nombreux savants, tels que Carnot, Joule, Hirn, Regnault ont démontré l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur et prouvé qu'elle est absolue. La *calorie* (quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau) correspond à un travail mécanique de 425 kilogrammètres, et inversement il faut dépenser 425 kilogrammètres pour obtenir une calorie. L'eau employée dans la machine à vapeur comme intermédiaire de la transformation constitue un procédé déplorable en raison de l'absorption considérable de calories qu'elle exige pour son changement d'état. Un kilogramme de bonne houille développe en brûlant 3.400.000 kilogrammètres, et c'est tout au plus si, dans les meilleures machines à condensation, on recueille 340.000 kilogrammètres, soit 1/10 seulement de l'énergie première. C'est dire combien il reste encore à étudier pour créer le vrai moteur économique, surtout à vapeur.

Sous l'action du rayonnement du foyer qui l'échauffe, l'eau se transforme donc en un fluide élastique qui, dans le milieu hermétiquement clos formé par la chaudière, acquiert une pression de plus en plus élevée au fur et à mesure que l'on continue à chauffer. Si l'on

donne issue à cette vapeur et qu'on la dirige sur une cloison mobile, circulant dans un récipient fermé de forme quelconque, la pression subie par la cloison déterminera son mouvement. C'est là tout le principe de la machine à vapeur, et nous pouvons dès maintenant diviser ce moteur en deux parties distinctes : le générateur où s'élabore la force, ou *chaudière*, et le *mécanisme moteur* proprement dit, où cette force est utilisée pour être transformée en mouvement.

Voici maintenant comment on peut classer les innombrables systèmes de générateurs actuellement en usage dans l'industrie, et dont la disposition varie presque à l'infini.

Suivant l'agencement du foyer par rapport au liquide à vaporiser, on distingue quatre catégories de chaudières.

- 1^{re} catégorie : chaudières tubulaires ;
- 2^e catégorie : chaudières à foyer extérieur ;
- 3^e catégorie : chaudières à foyer intérieur ;
- 4^e catégorie : chaudière à circulation rapide.

Les générateurs de la première catégorie peuvent eux-mêmes être subdivisés en deux classes distinctes, suivant que le tube contient l'eau à chauffer, ou qu'au contraire il est parcouru par la flamme (comme dans les locomotives), et traverse la masse à réduire en vapeur. Dans le premier cas, ce sont des *tubes à eau* ; dans le second, on les désigne sous le nom de *tubes à fumée* ; ce sont alors de véritables carneaux en fer, en cuivre rouge ou en laiton soudé. Les tubes à eau sont plutôt en fer soudé à recouvrement pour plus de solidité.

Ces tubes sont ordinairement réunis en faisceaux cylindriques au moyen de *plaques tubulaires* reliées par des entretoises. Les tubes *bagués* sont pourvus intérieurement d'une bague en acier chassée à force à l'une de leurs extrémités et ayant pour effet d'assurer le serrage du tube contre la paroi de l'orifice de la plaque. Ce procédé est défectueux, car cette bague diminue la section de l'entrée du tube, et le bourrelet est préférable. Dans ce système, on renfle les tubes à l'intérieur à l'aide d'un outil spécial, de manière à faire saillir une sorte d'anneau qui maintient les tubes. Enfin il existe un grand nombre de chaudières dans lesquelles les tubes sont démontables. L'un des modèles les plus connus est celui de Berendorf, dans lequel se trouvent deux bagues coniques de diamètres différents et exactement tournées. Les orifices des tubes sont alésés au diamètre de ces bagues dans les plaques terminales ; il suffit donc d'introduire chaque tube du faisceau par une des extrémités de la chaudière et de fixer le tube sur les plaques en frappant sur la tête d'un boulon dont l'embase porte sur l'extrémité du tube et dont l'extrémité, terminée par un étrier, prend, à l'aide d'un écrou, son point d'appui sur la plaque opposée.

Disons encore que les chaudières tubulaires peuvent être à *flammes directes* ou à *retour de flammes*. Chaque disposition présente des avantages et des inconvénients particuliers que nous examinerons en détail plus loin.

Les *chaudières à foyer intérieur* se composent en principe d'un vase métallique posé sur un fourneau en maçonnerie de briques ; des grilles fixes reposant sur cette maçonnerie supportent le combustible, et des carreaux permettent à la flamme de longer les parois latérales de la chaudière ; enfin une cheminée active le tirage et porte les gaz de la combustion à une hauteur suffisante pour que leur diffusion dans l'air n'ait plus aucune influence nuisible. Dans ce genre de chaudières (fig. 1), la surface de chauffe est très réduite, et par suite la puissance de vaporisation est faible. Le volume de vapeur développée, par rapport au volume d'eau, est comme 2 est à 3. C'est pour disposer d'une plus grande puissance de vaporisation que l'on augmente la surface de chauffe par l'addition de bouilleurs à la chaudière principale.

Les *chaudières à foyer intérieur* possèdent un fourneau enfermé dans une enveloppe métallique plongée au milieu même du liquide à chauffer. Il peut même exister deux

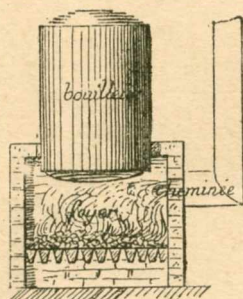


Fig. 1.
Chaudière à foyer intérieur

foyers, et des bouilleurs réchauffeurs peuvent être adjoints au récipient principal. Presque toutes les chaudières à foyer intérieur sont d'ailleurs *mixtes*, c'est-à-dire qu'elles possèdent des carneaux extérieurs.

Toutes les *chaudières à circulation rapide* reposent sur l'emploi de tubes de faible diamètre exposés à la flamme d'un foyer et traversés par l'eau à vaporiser. Elles sont basées sur ce principe qu'il ne faut vaporiser qu'une très petite quantité d'eau à la fois.

De très nombreux systèmes sont basés sur ces principes et nous les passerons en revue dans le paragraphe suivant. Dans ces chaudières, l'eau d'alimentation suit une marche inverse à celle des produits de la combustion.

On conçoit qu'il nous est absolument impossible de donner, dans un volume comme celui-ci, la description de tous les systèmes de générateurs qui ont vu le jour depuis cinquante ans. Ce serait nous engager dans un labyrinthe inextricable, et le présent ouvrage ne suffirait pas à relater les innombrables inventions et perfectionnements se rapportant à la vapeur. Nous devons nous borner à examiner les types de machines les plus communément employés dans l'industrie, en suivant, pour le classement, l'ordre du tableau que voici :

1^{re} Catégorie. — CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR. — Chaudières à bouilleurs, à réchauffeurs, chaudières Fairbairn, etc.

2^e Catégorie. — CHAUDIÈRES A FOYER INTÉRIEUR. — Chaudières mixtes, verticales.

3^e Catégorie. — CHAUDIÈRES TUBULAIRES. — Chaudières à tubes à fumée, genre locomotive. Tubes amovibles. Chaudières à retour de flammes. Chaudières avec tubes à eau horizontaux type Belleville, chaudières multitubulaires à tubes obliques et entrecroisés. Chaudières à tubes verticaux fermés, type Field. Chaudières à tubes rayonnants, type de Dion.

4^e Catégorie. — CHAUDIÈRES A CIRCULATION RAPIDE. — Chaudières en serpentins types divers. Chaudières à vaporisation instantanée Serpollet.

Les chaudières à vapeur.

CHAUDIÈRES A BOUILLEURS. DESCRIPTION. — Le modèle de ce genre est représenté par la chaudière à bouilleurs extérieurs, montée et encastrée pour ainsi dire dans un fourneau en maçonnerie. La partie métallique se compose d'un corps cylindrique (fig. 2), réuni à deux

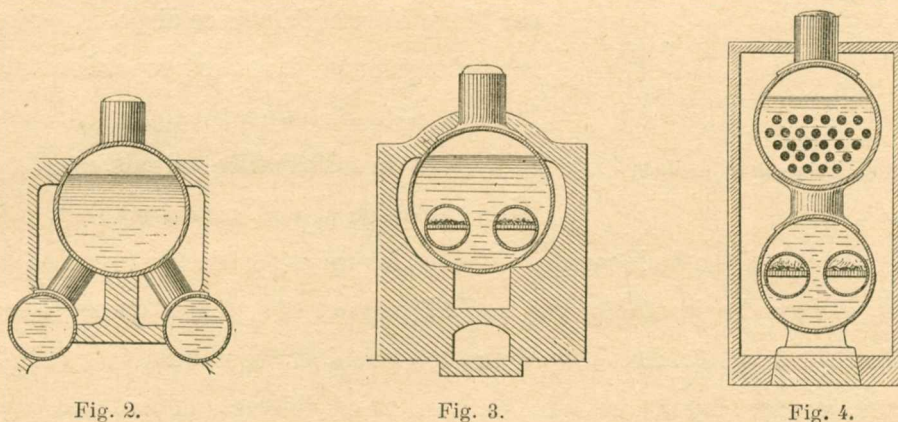


Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Types divers de chaudières à bouilleurs (vus de face, en coupe).

chauffeurs ou *bouilleurs*, (corps cylindriques de diamètre plus faible), par des tubes de communication ou jambettes.

La *chaudière Fairbairn* est une modification de ce dispositif. Elle est constituée par un cylindre contenant un ou deux tubes intérieurs où se trouvent des foyers (fig. 3). Ce système a l'avantage de fournir une grande surface de chauffe ; de plus, les tubes rivés aux deux fonds plats de la chaudière augmentent considérablement la résistance de ces faces.

Dans certaines chaudières dites à *foyer intérieur*, et qui dérivent de la précédente, les rechauffeurs placés à la partie inférieure, sont remplacés par un grand corps cylindrique (fig. 4) qui contient une grille et un foyer, et le corps cylindrique inférieur renferme une grande quantité de tubes destinés à augmenter la surface de chauffe. Cette surface dans un semblable générateur se décompose ainsi : $\frac{4}{5}$ de la surface des bouilleurs et $\frac{1}{2}$ de la surface de la chaudière. M. Grouvelle, ingénieur-constructeur, admet les dimensions suivantes pour une chaudière semblable à celle représentée par la figure.

1^o Le diamètre des bouilleurs moitié de celui de la chaudière.

2^o La longueur des bouilleurs égale à $\frac{1}{10}$ de celle de la chaudière.

3° La longueur de la chaudière égale à cinq fois son diamètre.

4° 2 mètres carrés de surface de chauffe par force de cheval.

Les chaudières à bouilleurs pèsent de 210 à 220 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe, et on admet que chaque unité vaporise de 15 à 18 kilogrammes d'eau en moyenne, par heure.

CHAUDIÈRES TUBULAIRES. — Comme nous l'avons déjà dit précédemment ces chaudières qui sont encore les plus répandues peuvent être divisées en deux catégories

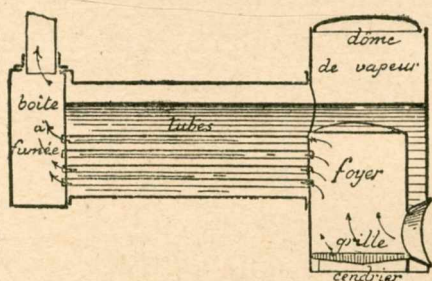


Fig. 5. — Type de chaudière dit de locomobile.

bien différentes, celle où les tubes sont exposés à l'action des flammes et celle où les tubes contiennent l'eau à vaporiser. Le type de la première catégorie est la chaudière de locomotive ; il a été imaginé en 1827 par Marc Séguin l'aîné ; ce dispositif présente l'avantage d'augmenter dans des proportions considérables la surface de chauffe et de permettre une meilleure utilisation du combustible, en raison de la plus grande longueur qu'on peut donner aux tubes.

Dans la chaudière de locomobile (fig. 5) les tubes partant du foyer, de forme rectangulaire, se dirigent horizontalement jusqu'à l'avant et débouchent dans une cavité cylindrique appelée *boîte à fumée*. Les chaudières des machines locomotives sont disposées d'une façon analogue, avec un foyer horizontal ou vertical où débouchent les tubes à fumée.

Comme chaudière verticale, la plus simple est celle qui se compose d'un foyer cylindrique en tôle, enfermé à l'intérieur de la chaudière. Une ouverture circulaire est pratiquée dans le ciel du foyer pour le passage de la fumée. Pour augmenter la puissance de chauffe, on a disposé dans certains modèles des bouilleurs intérieurs en nombre variable, allant de 1 à 8.

Dans beaucoup de générateurs tubulaires, notamment dans les grosses unités de la marine et de certaines usines, on dispose le foyer avec *retour de flammes* pour obtenir un rendement supérieur de combustible. Les considérations qui doivent faire admettre le retour de flammes dans les chaudières tubulaires sont les suivantes : 1° L'éloignement de la partie tubulaire du foyer, bénéficiant ainsi d'une usure moins rapide ; 2° l'avantage d'obtenir derrière la grille une chambre d'inflammation des gaz, où la combustion se complète et s'achève, en même temps qu'un lieu de dépôt où les particules solides emportées par les flammes viennent se réunir ; on peut alors enlever ce dépôt et nettoyer journallement la boîte à fumée, en ouvrant une porte ménagée à l'arrière du foyer ; 3° et en dernier lieu, l'avantage d'obtenir, avec une longueur moindre de chaudière, et par suite, avec moins d'encombrement, une surface de chauffe considérable, puisque la longueur du foyer est utilisée par le faisceau de tubes.

Cependant, et en opposition avec ces avantages, le système à retour de flammes possède quelques inconvénients. On a d'abord un changement brusque de direction dans le courant des flammes, ce qui augmente considérablement la perte de charge à l'écoulement des gaz, et, en conséquence, un abondant dépôt de suie dans la boîte à fumée dont le nettoyage est difficile en raison de sa mauvaise situation. Enfin l'allumage et la mise en pression de ce genre de générateurs sont toujours lents et difficiles ce qui constitue un défaut très sérieux.

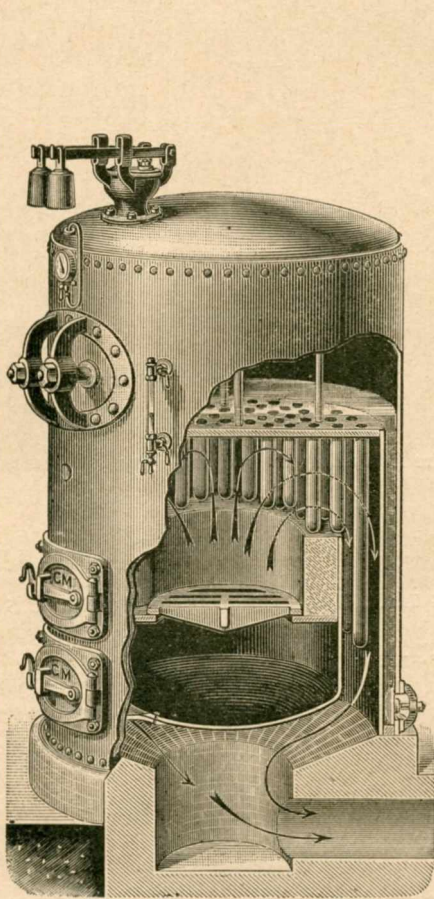


Fig. 6. — Chaudière système Mathian.

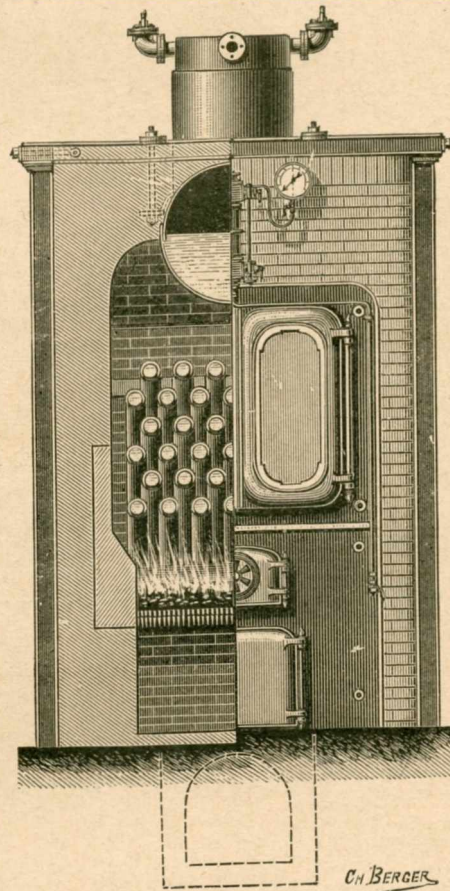


Fig. 7. — Chaudière système Joya.

Beaucoup de chaudières à flammes directes ou à retour de flammes sont *amovibles*, c'est-à-dire que les pièces les constituant peuvent être démontées et changées au besoin. C'est là une excellente amélioration, car l'amovibilité est un moyen très rationnel d'exécuter rapidement une réparation à la partie qui s'use le plus dans une chaudière, c'est-à-dire au foyer et à la partie tubulaire, et enfin à exécuter de loin en loin un nettoyage complet et à fond du générateur, l'emploi du trou d'homme et du tampon de nettoyage étant suffisant pour les nettoyages ordinaires. Mais cette amovibilité ne doit pas exister que par un seul point ; cette disposition aurait plus d'inconvénients que d'avantages et elle pourrait même être dangereuse quand le diamètre de la chaudière dépasse 1^m,50.

Les chaudières tubulaires à circulation d'eau, formées de tubes où l'on introduit continuellement et successivement de l'eau qui se vaporise presque instantanément sont déjà assez anciennes. C'est en 1850, en effet, que M. Belleville fit connaître un appareil de

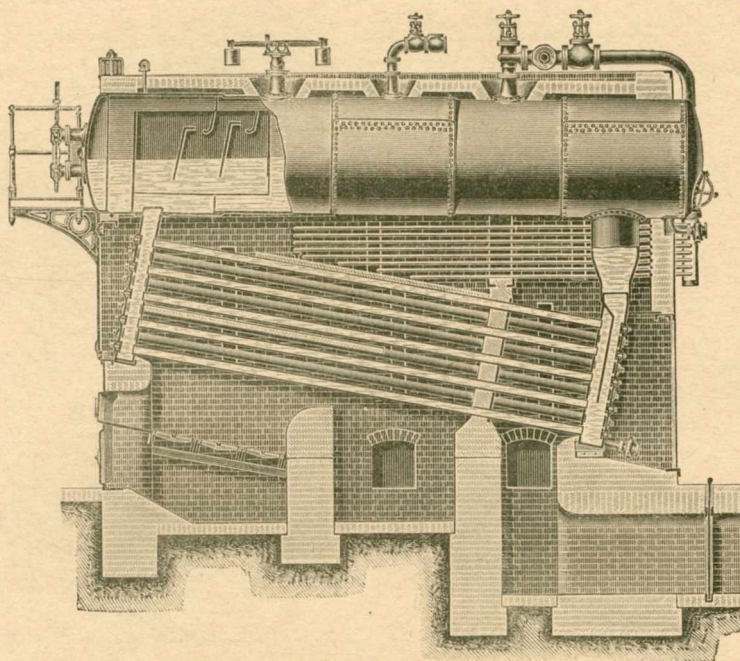


Fig. 8. — Chaudière multitubulaire Petry-Dereux.

ce genre qu'il a d'ailleurs notablement perfectionné depuis cette époque. Dans ce système, qui a été l'objet d'un grand succès et de nombreuses imitations, la jonction entre les divers

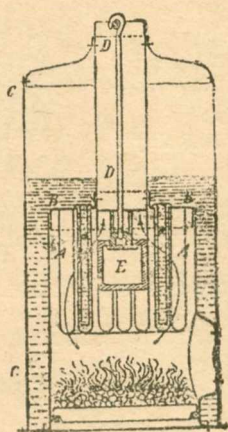


Fig. 9.
Chaudière Field.

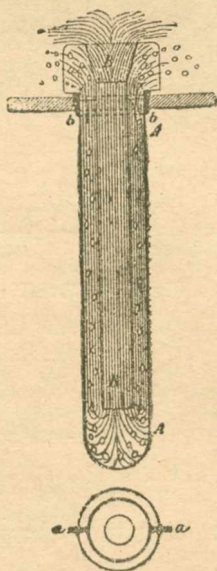


Fig. 40.
Tube Field.

tubes composant un élément, se fait au moyen de boîtes de raccord isolées et indépendantes. Les tubes d'eau, à leur partie supérieure viennent déboucher dans un collecteur de vapeur, lequel est traversé par un conduit recevant l'eau d'alimentation. Un sécheur de vapeur composé de tubes horizontaux est placé sous la couverture du générateur, et forme une circulation unique. Le registre fonctionne automatiquement suivant les variations de pression de la vapeur ; les grilles du foyer sont composées de barreaux de fer accouplés, formant des ondulations trapézoïdales qui ont pour effet de répartir également l'air sur toute la surface de la grille.

On peut citer parmi les meilleurs types de chaudières multitubulaires dérivant du principe Belleville, ceux établis par Le Blanc, Pinette, Hermann-Lachapelle (Brûlé et C^{ie}, successeurs), Ruyter, Champeaux, Basiliades,

Rikkers, Roser, Baxter, Thomas et Laurens, Duchesne, à retour de flammes, Farcot, Dulac, la Compagnie de Fives-Lille, Girard, Galloway, Mathot à Rœux (Pas-de-Calais) de Naeyer à Villebroeck, Collet (Niclausse, successeur) etc., etc.

Dans la catégorie des chaudières à eau, il faut ranger également le type Field, inventé par Perkins, et dans lequel les tubes sont verticaux (ou pendentifs, comme on dit plutôt) et fermés à leur partie inférieure exposée au rayonnement du foyer. Ces tubes sont

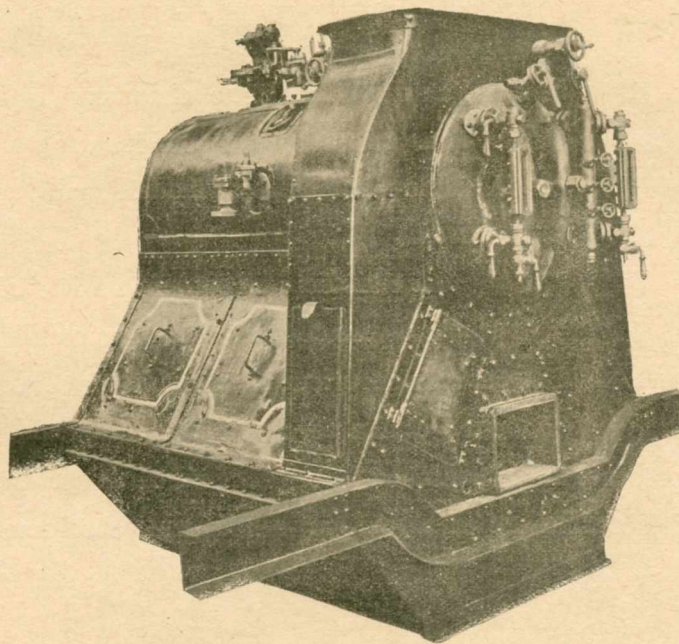


Fig. 44. — Chaudière semi-tubulaire. Système Roser.

rivés ou posés en terre, et soudés à leur partie inférieure. Dans leur intérieur, descend un autre petit tube qui se termine à 5 ou 6 centimètres du fond du grand et se termine en haut par un entonnoir (fig. 10). En marche l'eau descend par l'entonnoir du petit tube et remonte tout autour de celui-ci dans le grand tube avec la vapeur qui s'est formée. C'est là un dispositif très ingénieux et qui donne de bons résultats.

CHAUDIÈRES A CIRCULATION RAPIDE. — Un grand nombre de ces générateurs sont tubulaires et disposés de manière à développer la plus grande surface de chauffe possible, pour un volume donné. Elles contiennent donc peu d'eau, relativement à leur puissance de vaporisation, et, en conséquence leur alimentation régulière est difficile. Parmi les divers modèles qui ont reçu la sanction de la pratique, il faut citer la chaudière à tubes entrecroisés et en serpentín de Du Temple, adoptée pour les torpilleurs de la marine française. Ce modèle a été amélioré par M. Herreshoff qui est parvenu, si nous en croyons un article de notre confrère H. de Parville, à établir un générateur vaporisant 80 kilogrammes d'eau par heure sous un poids de 17 kilogrammes. La machine entière : avec son cylindre moteur et ses

accessoires ne pesait que 22 kil. 500 à vide et pouvait développer 6 chevaux-vapeur à la vitesse de 450 tours à la minute.

La chaudière imaginée par M. le comte de Dion et construite par M. Bouton possède également une grande puissance de vaporisation, eu égard à son poids. Elle se compose d'une série de petits tubes légèrement inclinés sur l'horizontale et disposés comme les rayons d'une roue tout autour d'un tube central. Une cloison de séparation permet de sécher la vapeur et d'éviter tout entraînement d'eau dans les tuyaux. Le foyer, disposé à l'intérieur assure un bon emploi du calorique. Appliquée à la mise en marche des voitures automobiles, cette chaudière légère n'a pas donné d'aussi bons résultats que pour les usages industriels à poste fixe. La figure 12 montre un modèle analogue connu sous le nom de *Hérisson*.

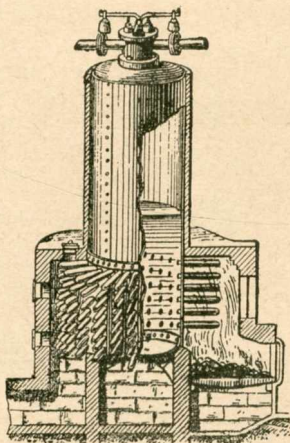


Fig. 12. — Chaudière tubulaire type dit le « Hérisson ».

La chaudière en serpentin a été préconisée à plusieurs reprises par divers constructeurs, mais elle n'a pas paru donner des résultats supérieurs à ceux fournis par les chaudières multitubulaires et elle est à peu près complètement abandonnée. Le système Serpollet représente la quintessence de ce procédé, car le serpentin ne contient plus qu'une quantité infinitésimale d'eau et reste, par conséquent, absolument inexplosible. Au

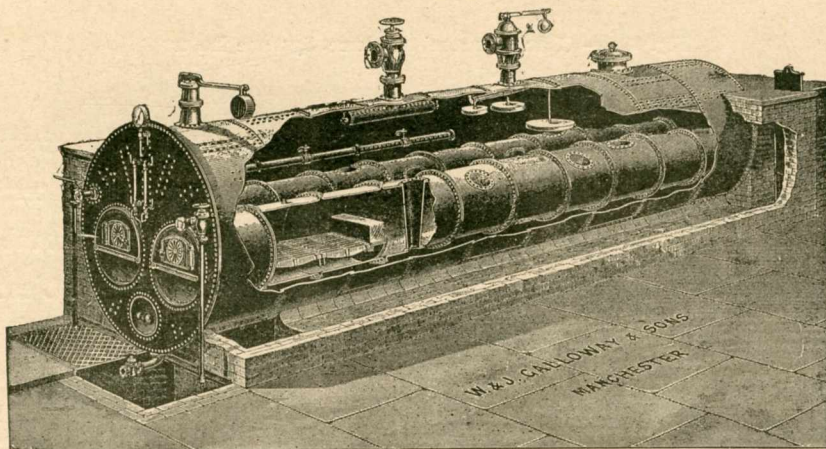


Fig. 13. — Chaudière à deux carneaux « Lancashire ».

lieu d'un réservoir volumineux contenant suffisamment de vapeur pour parer à tous les à-coups de la marche, on dispose, avec ce système d'un volant de chaleur au moyen duquel la vaporisation de la quantité d'eau nécessaire pour un coup de collier est assurée.

Les chaudières Serpollet sont composées d'une série de tubes en acier de 10 millimètres l'épaisseur, dont la section rappelle la forme d'un U renversé, et disposés en quinconce au milieu du foyer. La surface de chauffe que ces tubes présentent est assez grande,

et comme ils sont constamment traversés par un courant d'eau qui se trouve instantanément vaporisé, on obtient avec ce système une mise en pression rapide, un poids de chaudière très réduit, et une sécurité absolue, quelle que soit la pression atteinte.

L'appareil Serpollet permet une bonne utilisation du calorique, il a reçu de nombreuses applications, notamment pour la locomotion, et c'est le générateur usité pour la traction d'un certain nombre de lignes de tramways, à Paris et à l'étranger.

Un perfectionnement original aux appareils à vapeur vient d'être expérimenté en Angleterre et a donné, paraît-il, des résultats satisfaisants. C'est de la chaudière sans eau de l'ingénieur français Chatenet que nous voulons parler ici. Dans ce système, l'inventeur, au lieu d'employer une vaste chaudière avec une énorme provision d'eau qu'il faut porter à

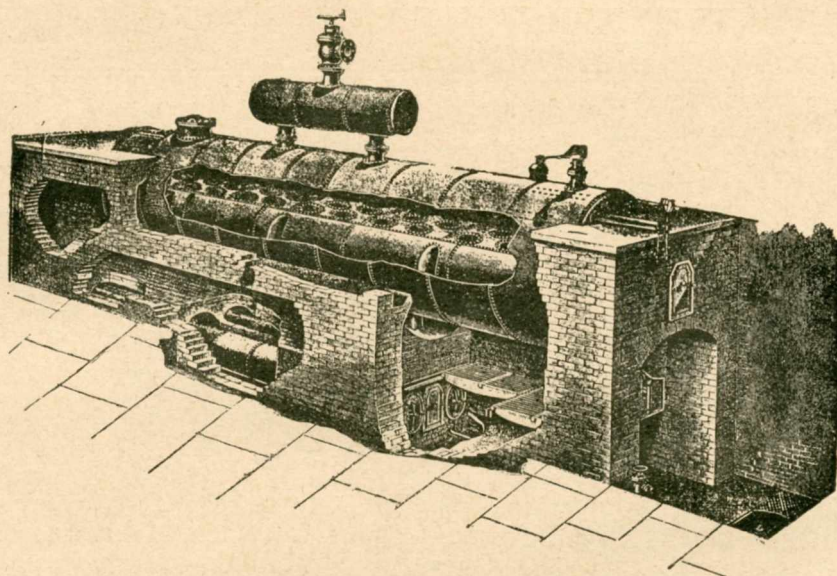


Fig. 14. — Chaudière Galloway avec foyer intérieur.

l'ébullition, au lieu même d'injecter dans les tubes chauffés un filet d'eau comme le fait M. Serpollet, on introduit dans ces tubes de l'eau finement pulvérisée.

La vaporisation est immédiate. C'est en effet de la poussière d'eau qui se vaporise. Cette poussière peut même être considérée comme de la vapeur obtenue à basse température par un travail mécanique.

Ce travail est produit par une petite machine annexe qui chasse l'eau vers un orifice étroit où elle se brise contre un obstacle et se pulvérise.

Cette chaudière est de dimensions très réduites puisqu'elle ne comporte pas de réservoirs d'eau sous pression. Elle est très économique de construction et possède une puissance de vaporisation extraordinaire.

De plus elle est inexplosible puisqu'elle ne contient jamais d'eau pouvant se réduire brusquement en vapeur, cause ordinaire des explosions. Elle ne renferme à tout moment que

la très petite quantité d'eau en poudre qui va être vaporisée. On peut comparer cette chaudière à un simple surchauffeur si l'on considère l'eau pulvérisée comme un premier état de la vapeur. Théoriquement on pouvait craindre que les tubes ne fussent rapidement brûlés puisqu'ils ne se trouvent pas en contact avec une certaine quantité d'eau liquide ; mais l'expérience a démontré que l'eau pulvérisée suffisait pour maintenir les tubes à une température constante et que ceux-ci restaient toujours recouverts d'une mince couche humide les préservant des coups de feu et des brûlures.

Tels sont les principaux systèmes de générateurs à vapeur actuellement en usage.

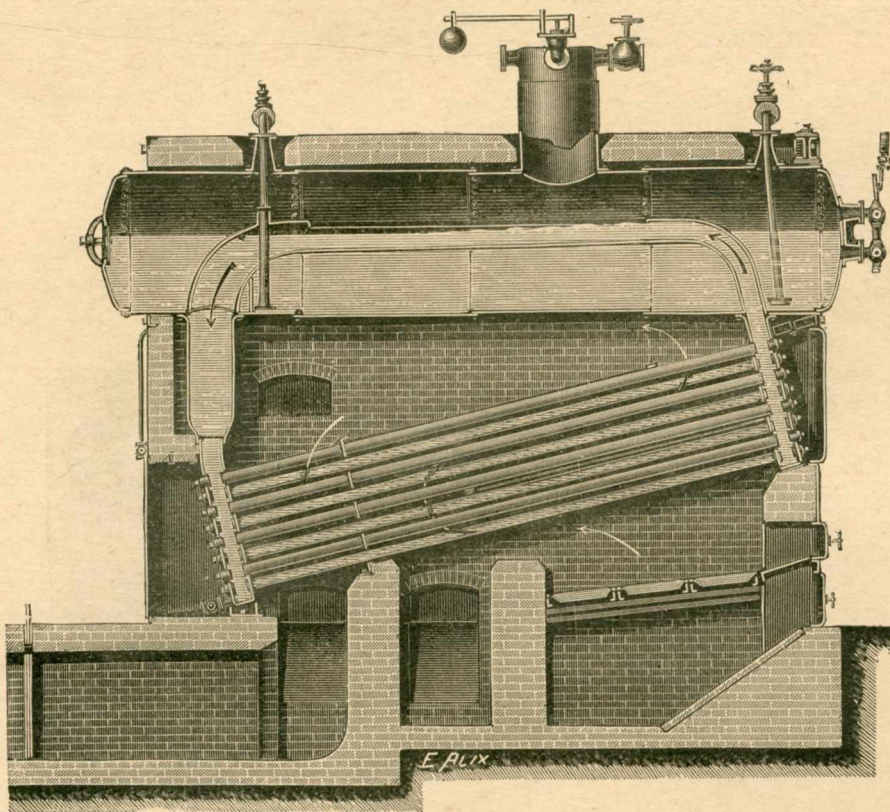


Fig. 15. — Chaudière système Buttner, type à volume d'eau moyen.

Nous terminerons ce chapitre par quelques considérations générales sur les avantages et les défauts particuliers à chacun des différents modèles qui viennent d'être passés en revue.

QUALITÉS D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR PARFAITE. — La sagacité de l'industriel consiste à choisir judicieusement le type de générateur qui convient le mieux à ses besoins. L'honorabilité et le bon renom du constructeur doivent influencer davantage dans son choix plutôt qu'un prix peu élevé par unité de poids. La valeur commerciale du générateur réside dans son rendement utile, sa durée, sa facilité de conduite et les faibles frais généraux d'entretien et de réparation qu'elle exige. Voici d'ailleurs l'énumération des qualités que doit représenter une bonne machine.

Foyer. — Le foyer doit être disposé en vue d'utiliser le combustible le plus avantageux et d'obtenir la combustion la plus parfaite possible. Il doit présenter une rigidité absolue si la machine est transportable et doit être d'une réparation facile, rapide et peu onéreuse dans tous les cas.

Surface de chauffe. — Il est nécessaire que les gaz chauds circulent en sens contraire de l'eau d'alimentation. La dilatation du métal dans tous les sens doit être assurée afin d'avoir une température égale dans toutes les parties. Il est bon que la circulation de l'eau soit activée et le dégagement de la vapeur produite facilité.

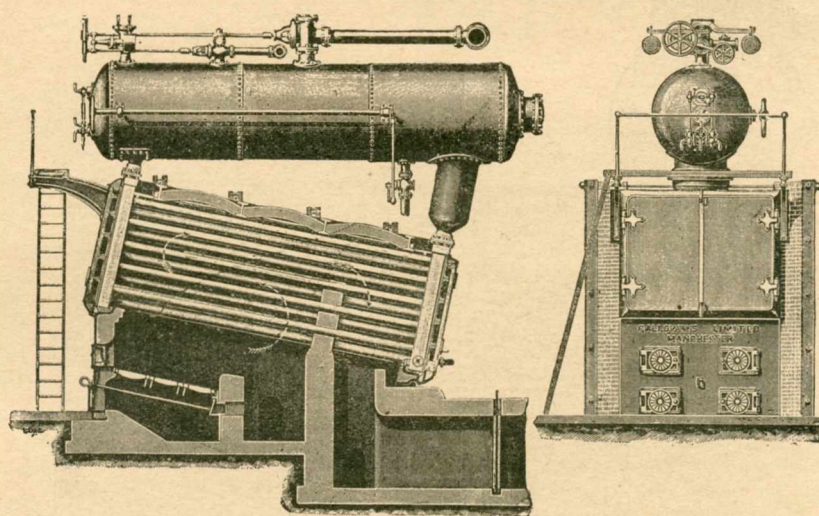


Fig. 16. — Chaudière Manchester.

Incrustations. — La chaudière sera disposée pour reléguer loin des parois chauffées, ou tout au moins dans l'espace le moins nuisible les dépôts insolubles produits par l'ébullition.

Chauffage. — Le foyer devra être conduit d'une façon aussi méthodique que possible, si la conductibilité des parois de la chaudière est certaine.

Entraînement d'eau. — Il est indispensable qu'il n'y ait aucun étranglement du liquide au-dessus des surfaces de chauffe actives ; un réservoir de vapeur de capacité convenable, permettant une répartition de la prise de vapeur sur la plus grande surface possible, est également nécessaire.

Joints. — Le nombre des joints doit être aussi restreint que possible, et ces pièces doivent être disposées de telle manière que la pression intérieure augmente l'étanchéité.

Prix d'achat, durée, réparations et entretien. — La chaudière doit présenter

des formes simples, un accès facile de toutes ses parties externes et internes, les dilatations libres, car les métaux laminés résistent de préférence aux efforts d'extension, enfin le passage des gaz sera largement assuré.

Sécurité. — La sécurité dépend des soins apportés à la construction, à l'installation et surtout à la conduite du générateur. Un chauffeur expérimenté, prudent et soigneux, est un gage de sécurité pour l'industriel propriétaire d'une chaudière à vapeur.

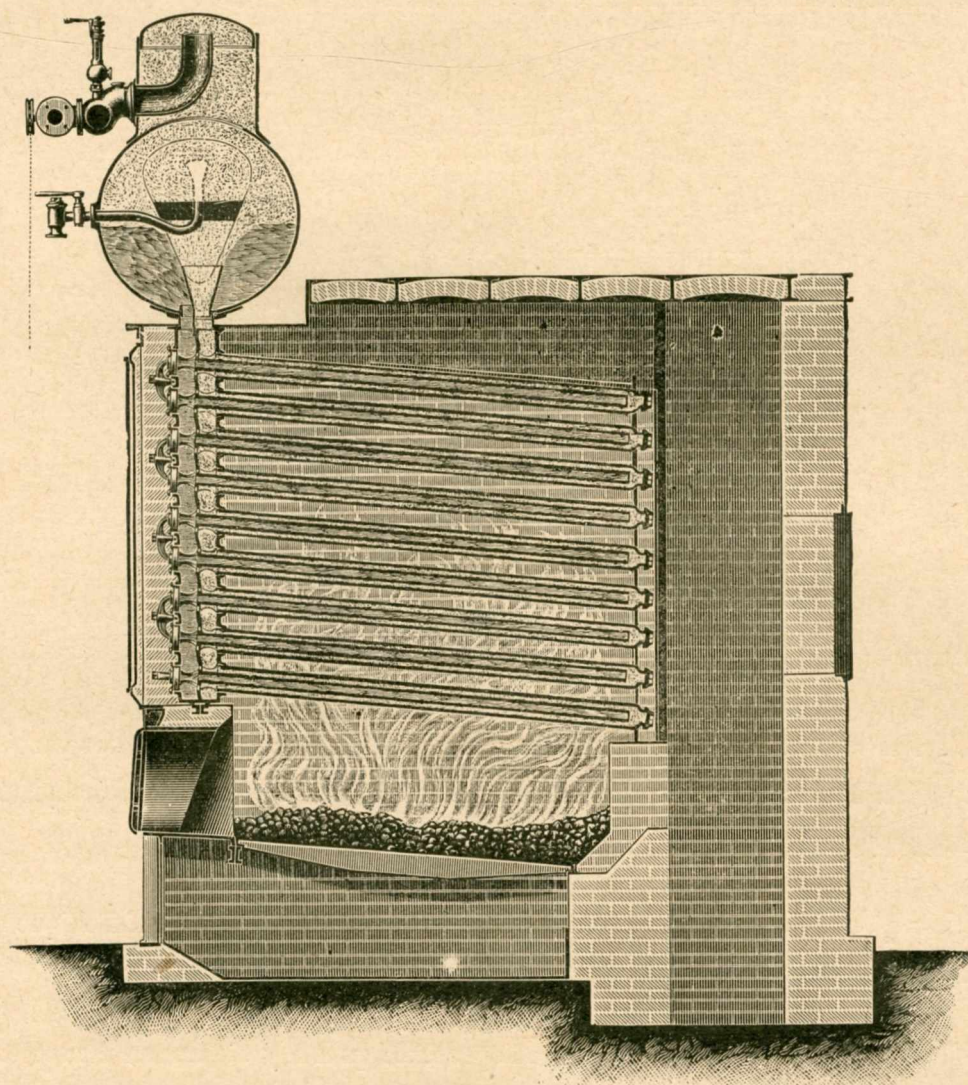


Fig. 17. — Générateur Niclausse.

INCONVÉNIENT DES CHAUDIÈRES TUBULAIRES. — Il y a des objections à formuler contre l'emploi du système tubulaire à eau. On peut résumer comme suit ces inconvénients :

- 1° Tendance à produire des projections ou entraînements d'eau ;
- 2° Tendance des tubes à eau de se remplir d'incrustations calcaires, des tubes à fumée de se remplir de suie et de s'encrasser, d'où diminution de la conductibilité ;

- 3° Pression irrégulière et variable due au petit volume d'eau contenu ;
- 4° Complication de forme, rendant les dérangements plus fréquents ;
- 5° Prix de construction, et, par suite, d'achat plus élevé ;
- 6° Raccourcissement exagéré de la flamme et diminution de son pouvoir rayonnant par la production de la suie ;
- 7° Refroidissement de la flamme avant la combustion complète ;
- 8° Réduction de la surface de chauffe efficace, limitée à la partie des tubes traversée par les produits de la combustion ;
- 9° Mélange intime et forcé des produits de la combustion avec le combustible ;
- 10° Obstacle à l'ascension de la vapeur et à celle de l'eau ;
- 11° Raccourcissement de la distance parcourue par les produits de la combustion ;
- 12° Accroissement nuisible de la rapidité des courants des produits brûlés ;
- 13° Diminution du temps accordé aux phénomènes pour se produire ;
- 14° Réduction de la surface vaporisatrice à celle du fourneau et de ses environs.

Nous n'insisterons pas plus sur les avantages et les inconvénients propres à chaque dispositif de générateur, pensant en avoir dit assez pour élucider cette question. Il importait surtout de cataloguer exactement les innombrables systèmes de chaudières actuellement en usage dans l'industrie, de façon à pouvoir se reconnaître sans hésitation au milieu de ce labyrinthe, et nous pensons que notre classification est suffisante et permettra de distinguer les différents types de chaudières. Nous en arriverons donc maintenant à la partie pratique, à l'indication des moyens les plus propres à obtenir un rendement maximum d'un générateur donné. Ces moyens sont la conduite rationnelle des feux ; l'alimentation et la surveillance des appareils indicateurs et de sûreté. En dehors de la question du choix de la chaudière, qui demande des connaissances particulières, il y a celle du choix du combustible et des eaux d'alimentation et nous montrerons, dans les pages qui suivent, de quel puissant intérêt peut être pour l'industriel, l'emploi de charbons spéciaux et d'eaux de bonne qualité. Ce n'est qu'à la triple condition d'avoir un générateur de construction rationnelle, utilisant au mieux le calorique qui lui est fourni, de l'alimenter avec des eaux aussi pures que possible, et de confier la surveillance et l'entretien de ce générateur à un homme expérimenté dans son métier, par conséquent bien payé, — c'est nécessaire, — que l'on obtiendra une marche régulière, une longue durée et enfin une réelle économie avec une entière sécurité.

Conduite du feu.

Le combustible le plus employé pour le chauffage des générateurs est le charbon de terre à cause de la grande chaleur qu'il dégage. L'allumage d'une chaudière se fait également à l'aide d'un chiffon imbibé d'huile enflammée. On promène le chiffon un peu partout afin que les copeaux soient allumés en ayant soin de laisser la porte légèrement entr'ouverte pour empêcher la fumée d'étouffer le feu.

Une fois les copeaux allumés sur toute l'étendue de la grille, on ferme la porte.

L'allumage doit être fait dans le temps le plus court possible, il faut ouvrir le registre presque en entier (excepté si l'on a affaire à un fourneau neuf pour éviter les cassures, ces dernières doivent toujours être indiquées par le chauffeur à son supérieur).

La porte du foyer doit être ouverte le moins possible et refermée très promptement, car chaque fois qu'on l'ouvre, il s'introduit de l'air dans le foyer qui refroidit ses parois et retarde la vaporisation. Lorsque les copeaux sont à peu près consumés, le chauffeur doit

en ajoutant de nouveau bois, égaliser le plus possible son feu et commencer ensuite à mettre quelques morceaux de charbon çà et là, jusqu'à ce que la pression atteigne $1/2$ ou $3/4$ de kilogramme, à ce chiffre, on ouvre le registre en grand et le souffleur, s'il en existe un, et on ne charge plus le feu qu'avec le combustible employé.

Le feu se garnit de combustible par couches étendues sur toute la surface de la grille, sans y laisser de vides. L'épaisseur à donner au combustible est laissée à l'intelligence du

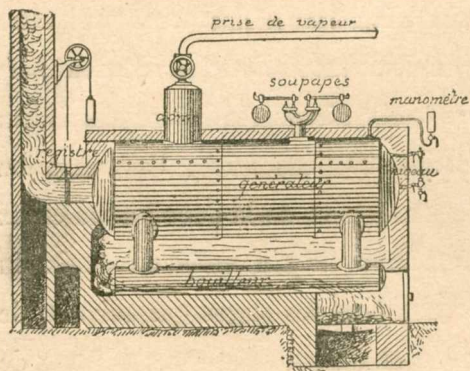


Fig. 18. — Ensemble d'un générateur à bouilleurs (coupe).

chauffeur. Pour le bois et la tourbe une moyenne de 20 centimètres sur la grille est nécessaire. Pour le coke, en marche ordinaire, 30 centimètres, avec tirage forcé 40 à 60 centimètres et pour la sciure une épaisseur variable suivant sa nature et sa finesse.

Si la pression diminue à l'ouverture du registre et du souffleur, cela prouve un feu mal allumé, ou un combustible de mauvaise qualité. Dans ce cas, refermer le registre et le souffleur, regarnir le feu en évitant les rentrées d'air par la grille, et ensuite ouvrir de nouveau les appareils précités, en tâtonnant pour chercher le degré d'ouverture qui leur convient le mieux afin d'éviter une diminution de pression.

Dans un foyer il est facile de s'apercevoir de l'état de la combustion ; s'il y a pro-

duction d'acide carbonique, la flamme est rouge-blanc, mais si au contraire il y a production d'oxyde de carbone, résultat défavorable, elle est jaune-bleuâtre.

Pour la houille ou charbon de terre destiné au chauffage des chaudières, on en distingue deux sortes : les houilles grasses et les houilles maigres.

Les houilles grasses sont celles qui contiennent beaucoup de matières volatiles, les houilles maigres en contiennent beaucoup moins.

L'épaisseur sur la grille pour les premières doit être de 7 à 12 centimètres et les morceaux pas plus gros que le poing. Pour les secondes l'épaisseur peut être un peu plus forte.

Les houilles maigres sont généralement préférées aux houilles grasses pour la raison principale que ces dernières donnent trop de fumée.

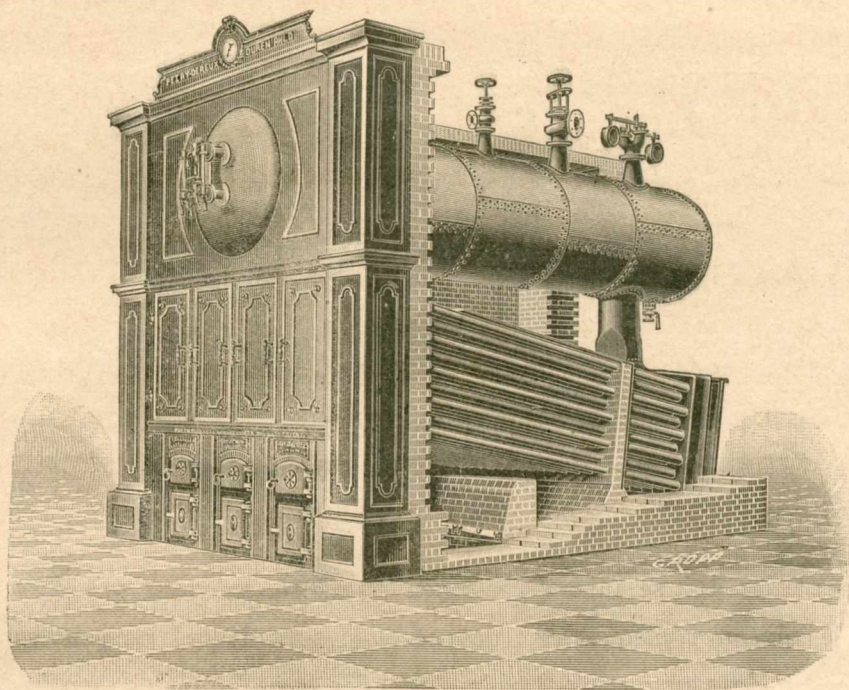


Fig. 19. — Façade de la Chaudière Péttry-Dereux

Il faut toujours observer ce qui se passe dans le foyer, avoir soin que la grille soit chauffée partout de la même épaisseur pour que la quantité d'air passe également par toutes les parties. En pratique, il faut autant que possible repousser au fond de la grille, la houille, au fur et à mesure qu'elle est carbonisée et charger la houille nouvelle près de la porte du foyer.

La différence de consommation dépend absolument du chauffeur, elle varie, suivant les individus, de 30 0/0 avec la même production de vapeur. Certains charbons contiennent des cendres qui, se combinant entre elles, forment une espèce de fer appelé *mâchefer*, mais qui n'a aucune analogie avec le fer.

Si l'air ne passe pas également par les points de la grille, la chaudière risque de brûler.

On doit ringarder souvent, ramener le mâchefer qui se forme à l'extérieur du foyer. Pour la houille, on chargera entre 5 et 10 minutes et plus souvent pour le bois. La charge sera faite le plus vivement possible et, pendant la marche, le registre devra être réglé par le chauffeur suivant les besoins.

Si les soupapes à un moment donné, quoique bien réglées, viennent à cracher, c'est qu'il y a un instant de feu précipité, il suffit d'ouvrir la porte du foyer, de modérer le feu, de le jeter bas s'il y a danger, mais ne pas alimenter et encore moins caler les soupapes par des moyens souvent cachés et que seul le praticien connaît, ce qui est une des principales causes des accidents souvent mis sur la faute des constructeurs.

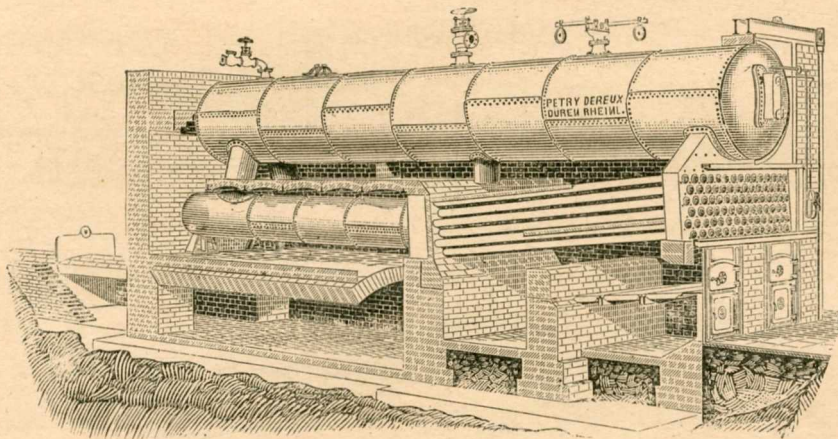


Fig. 20. — Chaudière Pétry-Dereux, système Mac-Nicol.

L'alimentation doit se faire d'une façon régulière, en ayant soin d'avoir toujours sous les yeux le niveau réglementaire, un peu au-dessus duquel on peut se tenir, sans jamais descendre au-dessous, sous peine dans certains cas d'alimenter sur des parties très chaudes, quelquefois rouges même et de produire ainsi et instantanément un surcroît de vapeur pouvant amener la rupture d'un tube, l'explosion de la chaudière ou tout au moins un coup de feu ou une déformation sérieuse. Il ne faut pas non plus se tenir trop au-dessus du niveau réglementaire pour éviter l'entraînement d'eau dans les cylindres dont la conséquence est quelquefois la rupture d'un plateau. Une chaudière doit être lavée tous les huit jours si les eaux sont de mauvaise qualité mais en tous les cas, et sous aucun prétexte on ne doit pas dépasser la quinzaine pour cette opération. A l'époque des gelées il faut avoir soin de vider l'eau du générateur s'il ne fonctionne pas ou d'entretenir un peu de feu dans le foyer ou près de là, afin d'éviter que l'eau ne se gèle à l'intérieur, ce qui pourrait occasionner des dégâts matériels à l'appareil.

Avant tout, la conduite d'un générateur doit être confiée à un chauffeur intelligent,

solide au poste, ferme de caractère, laborieux, sobre, ayant conscience de la responsabilité qui lui incombe et doué de tout le sang-froid nécessaire pour le cas d'un dérangement imprévu.

Il ne suffit pas pour conduire une machine à vapeur, et comme une personne peu au courant pourrait le croire, de lancer des pelletées de charbon dans un fourneau ; ce serait une erreur de supposer que le premier manœuvre venu peut faire un chauffeur suffisant. C'est en confiant la direction d'une machine à des ouvriers ignorants que l'on peut craindre des dérangements fréquents, donnant lieu à de coûteuses réparations, quand il ne se produit pas des accidents funestes, détruisant avec la machine les bâtiments où elle se trouve et mutilant ou tuant les personnes qui l'environnent. C'est pourquoi nous insisterons encore sur les points qui doivent constamment attirer l'attention d'un chauffeur et demeurer gravés dans sa mémoire.

Gaz de la combustion. — Quand on brûle de la houille sur la grille d'un fourneau, différents gaz se dégagent que l'on peut reconnaître du premier coup d'œil. C'est d'abord l'acide carbonique, dont le développement correspond à la combustion la plus complète et la plus réussie, ensuite l'oxyde de carbone, dont la présence dénote une combustion imparfaite. On distingue, avons-nous dit, ces deux gaz l'un de l'autre parce que le premier ayant une très haute température rend brillantes les parcelles de carbone qu'il entraîne et que le second brûle avec une courte flamme bleue. Un bon chauffeur doit donc chercher, en conséquence, à développer des flammes claires, uniformément réparties sur toute la surface du feu. Il doit éviter la production de taches noires, ces taches consistant en des paquets de houille qui distillent de l'hydrogène carboné sans aucun profit. Ce phénomène est dû à une combustion incomplète : c'est que l'air extérieur n'atteint pas ce charbon. Il faudra donc, pour y remédier, augmenter le tirage, sans pour cela refroidir le foyer et enlever les cendres et le mâchefer qui empêchent souvent l'air de se répartir également sous la grille.

FUMÉE. — La production d'une épaisse fumée noire et un dépôt de suie sont la preuve d'une combustion incomplète. Il est indispensable, à tous points de vue, de les éviter en manœuvrant le registre de tirage de la cheminée et en s'efforçant à tout moment de fournir au foyer la quantité d'air qui lui est nécessaire. Toutes les machines sont pourvues de ce registre et des moyens de régler le tirage. Remarquons en passant que la quantité d'air qui doit passer sur un foyer est variable. Quand on vient de recharger de charbon après avoir nettoyé la grille, il se produit un grand refroidissement et une épaisse fumée se dégage. Il faut brûler cette fumée avec un surcroît d'air aussi chaud que possible, et le chauffeur a pour cela deux moyens à sa disposition. Le premier et le plus efficace consiste à repousser au fond du foyer presque tout le charbon incandescent qui demeure après le nettoyage. Le peu de charbon restant sur le devant est recouvert de houille nouvelle :

la fumée qui s'en dégage passe au-dessus du charbon rouge en même temps qu'un excès d'air qui a déjà eu le temps de s'échauffer. Le mélange de la fumée avec cet air chaud élève la température à un assez haut degré pour que la combustion soit opérée, si la manœuvre est bien exécutée. Le second moyen, encore plus simple et qui peut être mis en pratique en même temps que celui que nous venons de décrire consiste à laisser la porte du fourneau entr'ouverte de quelques centimètres. L'air qui passe à travers cet interstice s'échauffe au contact des pièces de fonte chaudes, se mélange ensuite à la fumée et la brûle au fond du foyer.

CHARGEMENT DU FOYER. — Avoir soin d'étaler le charbon en couche régulière et assez mince sur toute l'étendue du feu pour éviter un abaissement de la température, et à intervalles assez éloignés pour que la combustion ait le temps de s'effectuer convenablement.

NETTOYAGES. — Le tirage doit être suffisant pour tenir le mâchefer à l'état pâteux et en fusion, ce qui permet de l'enlever sans difficulté. Les grilles à barreaux minces et hauts donnent d'excellents résultats, car le mâchefer n'y adhère jamais ; il s'écoule en perles entre les vides des barreaux et peut être enlevé facilement au ringard. Les nettoyages ne devraient être exécutés qu'à de très longs intervalles, mais ce n'est pas toujours possible, lorsque, par exemple, la grille est mal proportionnée ou le charbon très sale. Le chauffeur ne peut pas remédier au premier défaut ; quant au second il peut en diminuer les fâcheux effets en prenant la précaution de trier les pierres et surtout les pyrites, de couleur cuivreuse, qui peuvent se trouver mélangées à la houille.

Il ne faut pas perdre de vue que des nettoyages trop fréquents et répétés du foyer présentent de graves inconvénients. En premier lieu, la porte du fourneau demeurant longtemps ouverte, l'air froid extérieur se précipite dans le foyer qu'il refroidit considérablement : il en résulte une baisse de pression et le travail du moteur se trouve diminué et retardé, en même temps que la température des tôles s'abaisse. Or, on sait que des variations brusques de température sont désastreuses pour le métal des chaudières : il se produit de telles contractions et des dilatations aux joints et aux clous qu'il se produit des fuites nécessitant des réparations coûteuses et un chômage assez long. Il est donc bon que le chauffeur sache nettoyer complètement et rapidement son feu, de façon à répéter le moins souvent possible cette manœuvre.

ARRÊTS DE LA MACHINE ET ARRÊT DE LA CHAUDIÈRE. — Quand il y a un arrêt de fonctionnement de la machine à un moment donné de la journée, ordinairement à midi, c'est pendant cet arrêt que le chauffeur doit procéder aux diverses opérations qui amènent le refroidissement, comme le nettoyage complet de la grille, le rechargement entier du foyer et l'alimentation de la chaudière. Pendant l'arrêt, la pression a le temps de remonter à son taux normal, puisqu'on n'use pas de vapeur.

Avant la fin de la journée et de l'arrêt définitif, le chauffeur exécute encore un nettoyage complet de la grille qu'il recharge ensuite avec du combustible mouillé sur toute sa surface. Le feu ainsi couvert, il ferme le registre de la cheminée pour rendre le tirage presque nul pendant la nuit; le feu ainsi préparé est dit *dormant*. Si l'on doit chômer le lendemain, on ne couvre pas le feu; on se borne à cesser d'alimenter la grille de charbon nouveau à la fin de la journée, et on termine en diminuant progressivement la chaleur de façon à n'avoir plus qu'une pression d'une ou deux atmosphères au plus à la fin, ainsi que très peu de charbon à jeter hors du foyer au moment de l'arrêt définitif.

Alimentation de la chaudière.

L'alimentation d'un générateur, bien qu'extrêmement facile puisqu'elle s'effectue automatiquement, constitue la partie la plus délicate de la tâche du chauffeur, car si elle est faite sans soins ni précautions, il peut en résulter des accidents bien autrement graves que ceux dépendant d'une conduite défectueuse du feu. C'est presque toujours à la suite d'une alimentation intempestive que se produisent des catastrophes terribles, des explosions jetant le deuil et la désolation dans beaucoup de familles.

Nous examinerons donc, en premier lieu, la question des eaux à choisir pour l'alimentation des chaudières et les remèdes à apporter à la production des dépôts terreux et calcaires, qui a lieu presque inévitablement au bout d'un certain temps de fonctionnement; nous étudierons ensuite les appareils au moyen desquels on remplace dans la chaudière l'eau qui s'en échappe sous forme de vapeur; enfin nous terminerons par quelques recommandations sur la manière d'alimenter pour ne pas entraver la marche et avoir un jeu régulier du moteur.

LES EAUX. — Le choix de l'eau devant servir à un générateur, est une question d'intérêt primordial pour tout propriétaire de machine soucieux de ses intérêts. Il ne faut pas oublier qu'avec de mauvaise eau, une chaudière peut être rapidement détruite. Or, il n'existe pas dans la nature d'eau réellement, chimiquement pure, à part l'eau de pluie. Toute eau transformée en vapeur laisse donc, sur les parois du récipient qui la contient, les matières étrangères qu'elle contenait en suspension ou en dissolution. C'est à ces dépôts, dont certains sont terreux et mous, et dont d'autres sont calcaires et très durs, que l'on donne le nom d'incrustations. Les dépôts adhérents sont les plus nuisibles, quelles que soient leur apparence et leur composition ils constituent une cause permanente de destruction pour les chaudières, et leur épaisseur croissante diminue la conductibilité des parois, ce qui fait décroître la

puissance vaporisatrice du générateur. La plus mince couche de tartre suffit à diminuer de 10 à 15 pour 100 cette puissance. C'est surtout dans les angles que s'accumulent ces dépôts; une parcelle oubliée dans un nettoyage peut devenir le centre d'un nouveau conglomérat.

Les matières étrangères contenues dans l'eau peuvent s'y trouver soit en suspension soit en dissolution. Dans le premier cas, il suffit de filtrer l'eau ou la laisser reposer dans les réservoirs pour les éliminer; dans le second cas, il est plus difficile d'en débarrasser le liquide. C'est le plus souvent des sulfates ou des carbonates à base de chaux, d'alumine, de magnésie ou de fer. Les premiers sont plus dangereux, car ils donnent presque toujours des dépôts cristallins, fibreux, adhérent à la tôle, tandis que les seconds sont souvent amorphes et pulvérulents. Les eaux acides exercent aussi sur les parois des chaudières une action corrosive qui rend l'usage de ces eaux impossible; enfin les eaux grasses sont également très mauvaises. Les points du métal auxquels adhère la matière graisseuse transmettent mal la chaleur et se surchauffent; le liquide se boursoufle et donne lieu à de violents soubresauts. Si cette eau grasse contient, de plus, un sel de chaux, l'effet est encore plus désastreux : il se forme un savon à base de chaux qui colle aux parois du générateur et modifie la capacité vaporisatrice dans une proportion extraordinaire. Il en résulte qu'il est indispensable de rejeter absolument l'emploi des eaux de condensation, toujours chargées de matières grasses, pour l'alimentation de la chaudière.

AMÉLIORATION DE L'EAU. — Il existe dans le commerce un très grand nombre de produits et de compositions chimiques ayant pour effet d'empêcher absolument les incrustations de se produire avec leur cortège de défauts et de dangers. Il faut reconnaître, avant tout, la nature et la composition de l'eau employée; quand on sait quelle est la matière dont il faut combattre le fâcheux effet, on peut alors choisir le remède qui convient à chaque cas.

On peut dire que les eaux d'alimentation appartiennent à quatre catégories distinctes : 1^o les eaux à peu près pures ou contenant des matières étrangères simplement en suspension; 2^o les eaux chargées de carbonate de chaux; 3^o les eaux chargées de carbonate et de sulfate de chaux; 4^o les eaux contenant du sulfate de chaux. Pour remédier aux défauts de ces eaux, on peut conseiller, dans le premier cas, un lavage, et, si cela ne suffit pas, la fécule, les pommes de terre, le lichen, etc., enfin, tous les corps pouvant former un mélange dans l'eau bouillante. Les effets du carbonate de chaux sont combattus par le tannin, sous forme d'écorce de chêne, de tannée fraîche ou de sel tannique. Le cachou peut être également recommandé. Si l'eau contient à la fois du carbonate et du sulfate de chaux, il faut joindre au tannin de la soude. Enfin, contre le sulfate de chaux on ne connaît qu'un moyen préventif qui est l'usage de la soude caustique. Le goudron d'usine à gaz et l'huile lourde de pétrole employés en badigeonnages, retardent la production des dépôts terreux et désagrègent les concrétions les plus calcaires après quelque temps d'usage.

Un courant électrique, même très faible, peut empêcher les dépôts et les incrusta-

tions dans les chaudières : c'est pourquoi on jette quelques poignées de grenaille de zinc dans les générateurs : il se développe pendant la marche un courant thermo-électrique qui maintient les particules en suspension dans l'eau à l'état pulvérulent et les empêche d'adhérer aux tôles. M. Testud de Beauregard a perfectionné ce procédé de désagrégation des incrustations, et le *réducteur électrique* que cet ingénieur a imaginé, et qui se compose d'un tube en cuivre rouge percé de trous, contenant des lingots de zinc, en rapport avec la tôle de la chaudière par des fils conducteurs, a donné les meilleurs résultats.

En résumé, l'analyse des eaux devant servir à l'alimentation des machines doit être faite. Il existe d'ailleurs des appareils très simples, connus sous le nom d'hydrotimètres, qui permettent d'apprécier en quelques instants la quantité de sels calcaires que contient un volume d'eau déterminé. Un de ces instruments, repose sur le principe qu'une eau pure dans laquelle on a fait dissoudre du savon devient mousseuse quand on l'agite et que cette eau se remplit de grumeaux de margarate de chaux lorsqu'elle contient une certaine proportion de sels calcaires.

CORROSION DES CHAUDIÈRES. — Ces corrosions quand elles se produisent à l'intérieur sont dues à l'emploi d'eaux acides ou grasses, ou simplement chargées d'acide carbonique emprunté à l'atmosphère et dissous. Il est donc utile, pour éviter l'attaque du métal, d'empêcher ces gaz qui se dégagent quand l'eau s'échauffe, de demeurer longtemps au contact de la tôle. On peut donner, dans ce but, une inclinaison légère aux réchauffeurs, de façon à ce que l'air puisse se dégager par le tuyau qui fait communiquer les réchauffeurs avec la chaudière. Ces tuyaux doivent être, soit dit en passant, d'un diamètre assez fort pour empêcher les dépôts calcaires de s'y accumuler, car leur obstruction constituerait un danger très grave.

En ce qui concerne les corrosions extérieures de la chaudière, il faut, pour y porter remède, reconnaître exactement la cause qui leur a donné naissance. C'est le plus souvent des fuites aux tampons de vidange, aux joints des piétements ou aux rivures des enveloppes qui causent ces corrosions ; l'eau qui s'écoule par ces fuites et s'étend par capillarité ronge les tôles et oblige à mettre des pièces souvent de grandes dimensions. La condensation de la vapeur s'échappant des soupapes et robinets sur les parties froides de la chaudière amène souvent la rouille des parois extérieures.

Il résulte, de ce que nous venons de dire, qu'il importe de suivre attentivement les progrès de corrosions dès qu'on a constaté leur apparition. On peut éviter ainsi les accidents que pourrait amener un trop grand affaiblissement de la résistance de la chaudière.

APPAREILS D'ALIMENTATION. — Les appareils employés pour remplacer dans les chaudières l'eau enlevée par la vaporisation sont les pompes et les injecteurs. Voici l'explication du fonctionnement de ces instruments.

Les pompes alimentaires sont à la fois aspirantes et foulantes et le piston agit soit verticalement, soit horizontalement ou même obliquement dans le corps de pompe. Un excentrique, calé sur l'arbre moteur, transmet le mouvement au piston, et l'aspiration s'effectue dans une bêche traversée ordinairement par le tuyau d'échappement, ou, quand la machine est pourvue d'un condenseur à surface, dans une capacité spéciale où l'eau de condensation est refoulée par la pompe à air. Les figures 21 et 22 montrent l'aspect, en coupe de pompes alimentaires, l'une verticale, l'autre à piston oblique.

Le piston opère le vide dans le cylindre où il se meut, et la pression atmosphérique oblige l'eau à soulever un premier clapet pour s'introduire dans la pompe; lors du refoulement, ce clapet se referme, l'air se comprime par conséquent, soulève la seconde soupape et s'échappe par le tuyau d'alimentation se rendant à la chaudière. Quand tout est en bon état,

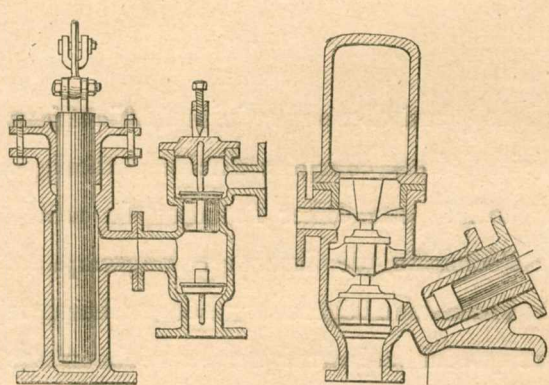


Fig. 21 et 22. — Pompes alimentaires.

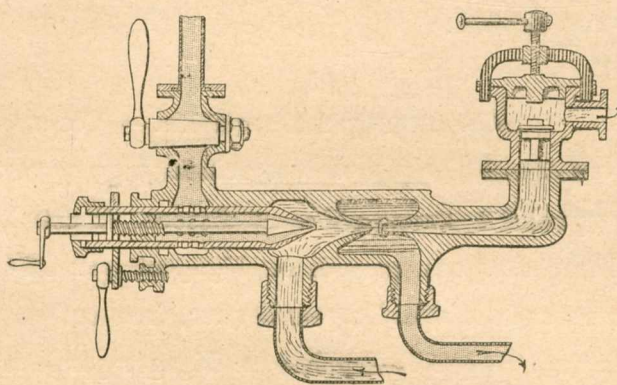


Fig. 23. — Injecteur Giffard (coupe).

une pompe alimentaire fournit plus d'eau qu'il n'en est nécessaire pour maintenir le niveau dans la chaudière. Pour empêcher ce niveau de s'élever, le chauffeur doit fermer une soupape placée sur le tuyau de refoulement; l'eau ne trouvant plus d'issue soulève un autre clapet disposé dans la boîte alimentaire et retourne à la bêche. Ce clapet est connu sous le nom de *soupape de trop plein*. Si elle n'existe pas, et qu'on veuille arrêter le débit de l'appareil, on ferme tout simplement le robinet du tuyau d'aspiration et la pompe fonctionne à vide.

Nous indiquerons plus loin comment on s'assure qu'une pompe alimentaire fonctionne bien, ainsi que les moyens les plus simples et les plus rationnels pour entretenir et réparer ces instruments dont l'usage est universel, bien que d'autres appareils, tels que l'*injecteur* et le *pulsomètre*, par exemple, leur fassent une acharnée concurrence.

L'*injecteur*, inventé par l'ingénieur H. Giffard est fondé sur la propriété que possède la vapeur, en s'écoulant par un tube de section convenable, d'aspirer l'eau et de lui imprimer, en se condensant, une vitesse assez considérable pour que ce mélange puisse pénétrer dans la chaudière malgré la pression intérieure. Une comparaison nous aidera à saisir ce fonc-

tionnement. Supposons un générateur sous pression, pourvu d'un clapet visible à l'extérieur, pouvant s'ouvrir en dedans mais maintenu fermé par la pression. Si on lance contre ce clapet le jet d'eau qui sort de la lance d'une pompe à incendie, on conçoit facilement que, si la pression de ce jet (ou sa vitesse) est plus grande que la pression qui maintient le clapet appliqué contre la paroi, le clapet sera repoussé en dedans et l'eau pénétrera dans la chaudière. Tel est le principe du *giffard*, qui se compose d'un tube en bronze, pourvu de tuyaux et de robinets, et dont voici le mode d'action (fig. 23) :

En ouvrant le robinet R, la vapeur arrivant de la chaudière pénètre par des trous, dans une capacité annulaire d'où elle s'échappe par une ouverture que l'on peut démasquer ou fermer en tournant une tige filetée commandée par la manivelle. Grâce à son énorme vitesse ce jet de vapeur aspire depuis la bûche et entraîne avec lui l'eau d'alimentation arrivant par un tuyau. Le mélange d'eau et de vapeur continue son chemin dans l'appareil en passant dans les deux tuyères opposées formant trompe soufflante, puis il soulève par sa vitesse la soupape et pénètre dans la chaudière par le tube qui s'y raccorde. La vapeur condensée en route et l'eau qui a échappé à l'entraînement s'écoule à l'extérieur par un tuyau de trop plein. Des regards permettent de se rendre compte de la marche de l'appareil et de régler en conséquence, à l'aide de la tige et des robinets, l'arrivée de l'eau et de la vapeur. Il est nécessaire que la section annulaire du passage d'eau, comprise entre la tuyère et la cheminée, soit convenablement réglée, car elle doit varier avec la pression de la vapeur, et avec la température de l'eau d'alimentation. On reconnaît que la section est trop grande lorsqu'il s'échappe un excès d'eau par le trop plein. Quant, au contraire, elle est trop faible, il n'arrive pas assez d'eau pour condenser la vapeur, qui alors refoule l'eau en dehors du tuyau d'aspiration et s'échappe aussi par le trop plein. Lorsque le fonctionnement s'opère normalement, on s'en aperçoit à un sifflement particulier qui se fait alors entendre.

Le seul inconvénient de l'injecteur est de ne pouvoir marcher qu'avec de l'eau froide ; il agit d'autant mieux qu'il doit aspirer de moins haut, et il est préférable, pour éviter qu'il se désamorce, que l'eau d'alimentation lui parvienne sans peine, grâce à la hauteur à laquelle on a placé la bûche contenant cette eau.

L'invention de Giffard a été notablement perfectionnée depuis sa première apparition, et il faut citer particulièrement les modèles de Turck, de Vabé qui constitue un très bon modèle, l'*injecteur universel* de Koerting, les types de Schaeffer et Budenberg (fig. 24), également très usités et bien d'autres encore que, seul le peu de place dont nous disposons nous empêche de décrire comme nous le voudrions, tous ces intéressants appareils.

Le *pulsomètre* est un appareil d'origine américaine, connu en France depuis l'exposition de 1878, et qui peut rendre les mêmes services qu'une pompe sans exiger autre chose qu'un jet de vapeur. Cependant, il est peu employé pour l'alimentation des chaudières.

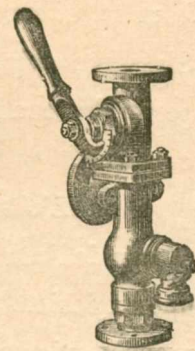


Fig. 24
Injecteur de Schaeffer et Budenberg.

car il dépense plus de vapeur qu'une pompe quelconque, commandée par la machine elle-même. Nous n'entrerons donc dans aucun détail sur ce système, que les chauffeurs à qui nous nous adressons auront rarement l'occasion d'entretenir. Les pompes et les injecteurs sont d'un emploi presque universel, et nous reviendrons, dans le paragraphe suivant, sur les soins qu'il convient de leur donner, pour en obtenir un fonctionnement certain et régulier.

Conduite des Chaudières à vapeur.

RÈGLES A SUIVRE AU POINT DE VUE DE LA SÉCURITÉ. — Les précautions qu'un chauffeur ne doit jamais perdre de vue, s'il tient à éviter des accidents, peuvent être ramenées à trois règles principales qu'il doit scrupuleusement observer.

1° Maintenir constamment à une hauteur convenable le niveau de l'eau dans la chaudière. Eviter comme inutile, et même comme nuisible, qu'il y ait *trop d'eau*, mais veiller surtout à ce qu'il n'y en ait jamais *trop peu*.

2° Ne laisser dans aucun cas la pression de la vapeur s'élever au-dessus des limites qui ont été fixées et sont déterminées par le timbre réglementaire fixé sur la chaudière.

3° Nettoyer la chaudière assez souvent et assez soigneusement pour que des dépôts boueux, et surtout des incrustations d'une certaine épaisseur ne puissent jamais y exister. S'assurer enfin, et même assez fréquemment, que toutes les parties du générateur n'ont rien perdu des conditions de solidité et de bon fonctionnement dans lesquelles l'appareil a été construit.

L'observation de la première de ces précautions, c'est-à-dire celle qui concerne le niveau de l'eau est de beaucoup la plus importante, car c'est souvent de son oubli que résulte une explosion, dont l'effet est toujours désastreux et dont le chauffeur est fréquemment la première victime.

La hauteur à laquelle l'eau doit être maintenue dans une chaudière est toujours marquée sur le devant par une ligne bien apparente. Cette hauteur est telle que le niveau est toujours de 10 à 15 centimètres plus élevé que le sommet des carneaux de chauffe ou que le ciel du foyer dans les chaudières à foyer intérieur, de telle façon que jamais aucune partie des tôles en contact avec la flamme ne puisse se trouver hors de l'eau. Si le niveau venait, par une cause quelconque à s'abaisser et les tôles à ne plus être refroidies par l'eau, le métal pourrait arriver à rougir et à *se brûler* ce qui lui enlève une grande partie de sa résistance. Une partie qui a reçu un *coup de feu* semblable ne tarde pas à être bonne à remplacer. Il est donc bon que le constructeur ait prévu cette circonstance en établissant le générateur de telle façon qu'il y ait une certaine marge dans laquelle le niveau peut jouer sans inconvé-

nient, de façon à donner le temps au chauffeur de prendre des mesures en rapport avec les circonstances. Enfin, il pourrait arriver qu'une partie de la chaudière étant ainsi portée au rouge, on vînt à alimenter. Une explosion s'ensuivrait à coup sûr, car il se produirait, lorsque l'eau froide viendrait en contact avec la tôle surchauffée, une telle quantité de vapeur à une pression si élevée, que les soupapes de sûreté ne suffiraient pas à la laisser échapper et que les parois céderaient forcément.

Il est donc indispensable, en résumé, de maintenir la constance du niveau, en vérifiant souvent la hauteur de l'eau dans la chaudière à l'aide des robinets de jauge et en consultant le tube du niveau. On doit alimenter chaque fois que l'on s'aperçoit que le niveau approche de la limite inférieure qu'il ne doit pas dépasser. On s'assure d'abord du bon fonctionnement de l'appareil d'alimentation, pompe, giffard, etc., et on met en marche cet appareil.

SOINS D'ENTRETIEN DES APPAREILS D'ALIMENTATION D'EAU. — Toutes les pompes alimentaires de machines portent un robinet d'essai sur la tubulure de refoulement. Si l'on ouvre ce robinet et que l'eau en sorte par intermittence en suivant les coups du piston plongeur, c'est que la pompe donne de l'eau. Quand on veut savoir si le débit est suffisant, on observe le tube de niveau après quelques minutes de marche de la pompe ; si le niveau de l'eau ne se relève pas, c'est la preuve évidente qu'il ne pénètre pas suffisamment d'eau dans la chaudière pour remplacer celle enlevée par la vaporisation. Le chauffeur devra donc chercher, sans perdre un instant, la cause de cette insuffisance, qui peut être due, soit à un engorgement des tuyaux ou de la pompe elle-même, soit à une fuite qui viendrait de se produire.

Il peut arriver, dès la mise en marche, que la pompe ne s'amorce pas et que l'air contenu dans la *chapelle*, entre les deux soupapes, ne puisse être comprimé, pendant la descente du piston à une pression suffisante pour soulever la soupape de refoulement. Alors l'air n'ayant pas d'issue reste dans le cylindre, il est soumis alternativement à une compression et à une dilatation successives, et le vide ne pouvant être produit, l'eau n'est pas aspirée. Pour combattre ce défaut, on ouvre le robinet purgeur, placé à l'endroit où l'air s'accumule dans la pompe, au moment où cet air est chassé par la descente du piston, puis on le referme vivement au moment où le piston remonte. Après un instant de ce manège, la pompe ne tarde pas à s'amorcer et à donner de l'eau.

D'autres causes encore peuvent entraver la marche régulière d'une pompe. Ce sont des rentrées d'air par les tuyaux aspirants ou par les bourrages des presse-étoupes ; des fuites aux soupapes qui ne retombent plus exactement sur leur siège ; l'échauffement de la pompe pour une raison quelconque, enfin une disposition vicieuse des différents organes. On peut reconnaître les rentrées d'air par le bruit qu'elles produisent, par la formation de globules d'air aux bourrages lors du refoulement, par le suintement de l'eau. En accélérant le mouvement de la pompe, ces bruits augmentent et se caractérisent. Quand ce sont les

soupapes qui fuient, l'eau sort par le robinet purgeur ouvert, que la machine soit au repos ou en marche, et pourvu que le robinet d'alimentation soit ouvert. Si l'eau descend dans la colonne aspirante lorsque la pompe est arrêtée, et qu'on est certain qu'il n'y a pas de rentrée d'air par la tuyauterie, c'est la preuve que le clapet d'aspiration est défectueux. Il en est de même, si, la pompe étant en marche, le doigt appliqué sur l'ouverture du robinet purgeur est constamment aspiré.

Lorsque les soupapes sont mauvaises, la pompe s'échauffe, et sa marche se trouve entravée par le dégagement de bulles de vapeur entre les deux soupapes et dans le corps de pompe. Cette vapeur ne permettant pas de diminuer suffisamment la pression, l'aspiration ne s'opère plus et on est obligé d'asperger l'appareil avec de l'eau froide pour condenser les bulles qui se forment à l'intérieur.

Il existe encore d'autres causes de dérangements qu'il faut reconnaître, si l'on s'est assuré comme il vient d'être dit de la bonne qualité des bourrages, et du bon état des joints et des clapets. Ces défauts peuvent être énumérés comme suit :

- 1^o Trop peu de jeu entre les branches de la soupape et son siège.
- 2^o Soupape d'aspiration placée trop haut, par rapport au tuyau reliant la chapelle à la pompe ;
- 3^o Trop ou trop peu de course aux soupapes ;
- 4^o Tuyau de refoulement placé de façon à permettre l'accumulation de l'air dans la pompe ;
- 5^o Robinet purgeur mal placé.

Il peut encore arriver que, si les clapets ont trop de course ils arrivent à sortir entièrement de leur encastrement et à se renverser dans la chapelle, si, au contraire ils ont trop peu de course, l'ouverture qu'ils démasquent est insuffisante pour laisser passer la quantité d'eau nécessaire. Enfin, il peut se produire des *coussins d'air* si les tuyaux sont trop recourbés ou si le tuyau de refoulement n'est pas placé aussi près du bourrage qu'il le faudrait. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de placer des robinets purgeurs dans tous les endroits où l'air peut s'accumuler.

On voit combien sont nombreuses les causes qui peuvent empêcher radicalement ou seulement entraver en partie le jeu d'une pompe alimentaire. Les injecteurs ne présentent pas une telle multiplicité d'inconvénients. C'est ordinairement en employant de l'eau d'une température trop élevée ou en prolongeant outre mesure l'aspiration que l'on contrarie l'effet de l'injection. La principale précaution à prendre, avec ce genre d'appareils consiste dans la fermeture absolue des robinets d'introduction de vapeur et d'eau en dehors des moments de fonctionnement de l'injecteur. On évite ainsi le dérangement des bourrages, qui se dégradent par un séjour prolongé au sein d'une vapeur brûlante, ainsi que l'attaque de la lance de

réglage et le dépôt des parcelles étrangères dans les tuyères. Or, beaucoup de chauffeurs laissent constamment ouverts les robinets d'eau et de vapeur et se contentent de fermer la lance ; c'est une négligence qu'il faut éviter quand on tient au bon fonctionnement et à la longue durée de l'injecteur.

L'alimentation est donc assurée, et nous avons passé en revue toutes les causes qui peuvent être un obstacle à cette opération. Examinons maintenant les points qu'un chauffeur ne doit pas perdre de vue pour la conduite rationnelle du générateur qui lui est confié.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE LORSQUE LE NIVEAU DE L'EAU EST DESCENDU AU-DESSOUS DE LA LIMITE FIXÉE. — Lorsque, pour une raison quelconque, on a omis d'alimenter et que le mal n'est pas encore trop grand, le chauffeur devra immédiatement modérer l'activité de son feu et sa production de vapeur en chargeant son feu de combustible et fermant presque entièrement le registre de tirage. Il pourra alors faire fonctionner ensuite la pompe ou l'injecteur pour revenir au niveau normal.

Mais il serait extrêmement dangereux d'agir ainsi, si l'eau était déjà descendue de 10 ou 15 centimètres au-dessous de la limite marquée, ce dont on s'apercevrait en regardant le tube indicateur devenu vide. On pourrait supposer que certaines parties de la surface de chauffe se trouvent alors hors de l'eau et peut être portées au rouge, et c'est alors qu'il faudrait bien se garder d'alimenter. Le chauffeur devrait même faire tomber son feu sans perdre un instant, et sans prendre en considération l'arrêt de la machine qui en résultera. Il faudra laisser refroidir le générateur en fermant le registre de la cheminée et la porte du foyer, où, s'il est nécessaire de procéder plus rapidement, en ouvrant au contraire toutes ces ouvertures. L'air froid qui traverse en quantité les carneaux amène un refroidissement rapide, mais c'est là une manœuvre nuisible pour la conservation des tôles, qui se contractent trop vite, aussi ne doit-elle être employée qu'à la dernière extrémité.

Il serait aussi dangereux, en pareil cas, de donner une large issue à la vapeur contenue dans la chaudière, soit en ouvrant brusquement le régulateur d'amenée de vapeur, soit en soulevant les soupapes ; il se produirait une diminution de pression à la suite de laquelle surviendrait une ébullition par soubresauts ayant pour effet de projeter l'eau au-dessus du niveau qu'elle occupait au repos, et de la mettre en contact avec des parties métalliques portées au rouge. La mise bas des feux s'impose donc, si l'on ne veut pas compromettre la sécurité de l'usine.

SURVEILLANCE DES APPAREILS DE SURETÉ. — Ces appareils, qui existent dans toutes les machines sont le tube indicateur de niveau, le sifflet d'alarme à flotteur, les soupapes de sûreté et le manomètre. Nous examinerons successivement le jeu de ces divers organes.

Le tube de niveau (fig. 25) est réglementaire, et il a pour but de faire connaître à tout instant la hauteur de l'eau dans la chaudière. Il serait très commode, mais, malheureu-

sement, de très nombreux accidents ont démontré que cet appareil est sujet à de fréquentes causes d'erreur. Il est un fait reconnu, c'est que deux tubes, montés d'une façon différente sur une même chaudière ne sont pas des niveaux concordants. Les explications données jusqu'ici de cette différence ne sont pas parfaitement claires ; mais il est certain que la condensation de la vapeur dans les tuyaux, les émulsions, les ébullitions tumultueuses, l'obstruction toujours plus ou moins grande des tuyaux et robinets par le tartre et les matières en suspension dans l'eau, ont une influence sérieuse sur les indications des niveaux. Toutes ces causes sont graves, car les différences existant entre le niveau indiqué et le niveau vrai peuvent être considérables ; aussi paraît-il aussi extraordinaire que regrettable que l'Administration, — qui impose l'emploi du tube, n'ait pas fait à ce sujet des expériences précises.

Ces défauts du tube indicateur ont été reconnus, et on est d'accord sur la fausseté des indications qu'il fournit. On a donc essayé de le perfectionner en les munissant d'un tube séparateur ou *clarinette*, qui a l'avantage de donner une plus grande rigidité aux garnitures

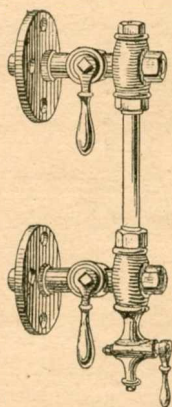


Fig. 25.
Tube de niveau.

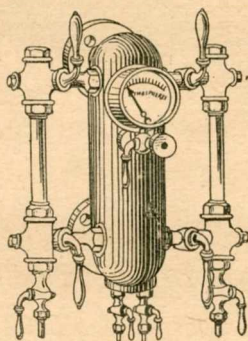


Fig. 26.
Clarinette avec deux tubes de niveau
se contrôlant mutuellement.

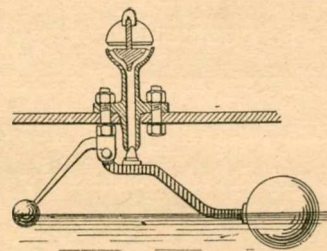


Fig. 27.
Sifflet d'alarme à flotteur.

maintenant le tube, et d'atténuer les mouvements brusques dus à l'ébullition (fig. 26). Enfin, l'adjonction d'une bande longitudinale, de couleur rouge facilite la vue du mouvement de la colonne d'eau, cette bande peut même être établie dans le corps du tube qui est désigné alors sous le nom de *photophore*.

Un autre inconvénient de tube indicateur consiste dans son insuffisante étanchéité. Il tombe constamment des gouttes d'eau bouillante des robinets et des garnitures, et l'ouvrier, souvent atteint et brûlé, renonce à entretenir cet appareil dont l'utilité est nulle pour certains chauffeurs.

Le sifflet d'alarme avec flotteur (fig. 27), qui résonne quand l'eau de la chaudière descend au-dessous, n'est pas absolument sûr non plus et il serait imprudent d'accorder une trop grande créance à ses indications, bien que ce genre d'appareils procède d'une idée fort juste. De nombreux accidents ont démontré, en effet, que la tige mobile du sifflet est sujette à s'entartrer et à être emprisonnée dans les bourrages où elle devrait glisser librement. L'arrêt

des flotteurs à contrepoids est fréquent, et les indications qu'ils fournissent sont souvent inexactes, soit parce que leur construction est défectueuse, soit par le dépôt de tartre ou de marne qui obstrue les canaux de vapeur et immobilise le mécanisme.

En résumé, il est nécessaire de munir un générateur de vapeur de plusieurs appareils indicateurs du niveau de l'eau. Deux tubes de même système, pourvus de clarinettes, constituent un excellent moyen de contrôle. Chaque fois que le chauffeur voudra vérifier exactement la hauteur de l'eau, en dégagant son observation des multiples causes d'erreur qui peuvent fausser l'exactitude de son appréciation, il purgera d'abord les tubes en ouvrant les petits robinets dont ils sont munis. Les matières étrangères qui auraient pu s'accumuler dans les tuyaux seront ainsi chassées au dehors par la pression de la vapeur, et on évitera l'obstruction des robinets et canaux de circulation. Dans les arrêts, le chauffeur devra vérifier que les divers indicateurs fonctionnent normalement et sans difficulté.

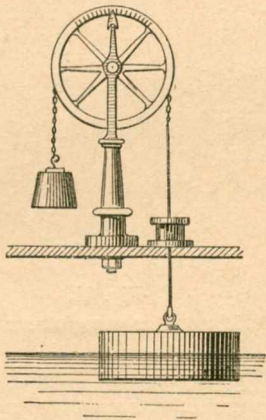


Fig. 28.

Avertisseur à contrepoids avec flèche indicatrice.

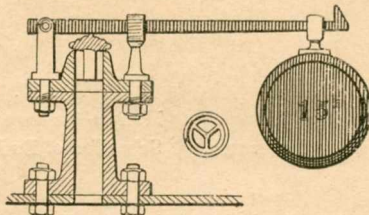


Fig. 29.

Soupape de sûreté à poids.

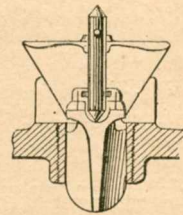


Fig. 30.

Soupape, modèle Dulac.

Les soupapes de sûreté (fig. 29 et 30), dont toutes les chaudières sont munies ont pour but de livrer passage à la vapeur en cas de surproduction et d'élévation de la pression au-dessus du chiffre normal déterminé par le timbre. Elles constituent de très bons appareils demandant peu de surveillance, car le chauffeur doit se borner à soulever deux ou trois fois par jour le levier qui maintient la soupape appliquée sur son siège. Sans cette précaution la soupape collerait à la longue à son support et l'adhérence pourrait devenir assez considérable pour que la vapeur ne pût plus soulever cette rondelle. En s'échappant, lorsqu'on soulève le levier, la vapeur chasse les matières adhérentes sédimenteuses, mais quelquefois aussi, cette simple manœuvre cause un accident : le clapet retombe mal sur son siège, ou quelque substance étrangère s'interpose et la soupape fuit. On peut arrêter cette fuite en tournant légèrement le clapet, mais souvent aussi on augmente la perte de vapeur, et on est obligé de roder le clapet à l'émeri au premier arrêt du générateur.

Il est inutile de dire que, dans aucune circonstance et sous aucun prétexte, on ne

devrait surcharger les soupapes, et surtout les caler pour les empêcher de fonctionner, car c'est s'exposer volontairement à une explosion, mais il faut dire que beaucoup de propriétaires de machines à vapeur, pour diverses raisons que nous exposerons dans le chapitre suivant, se soucient fort peu de cet imminent danger, et surchargent ou calent même les soupapes de leurs moteurs.

Le manomètre (fig. 31), qui indique constamment la pression de la vapeur à l'intérieur de la chaudière, peut servir à contrôler la marche des soupapes, qui doivent cracher à la pression marquée par le timbre. Mais il arrive souvent que le manomètre retarde, et, comme on prend pour base des calculs le diamètre intérieur, il en résulte que les soupapes de sûreté se soulèvent à une pression inférieure à celle indiquée comme maximum par le timbre de contrôle. Cette avance dans l'action des soupapes a été constatée depuis longtemps, mais

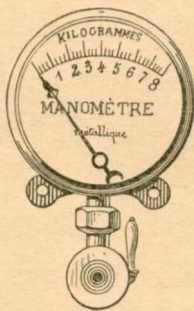


Fig. 31.
Manomètre métallique

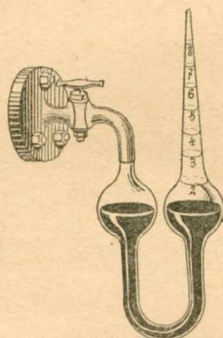


Fig. 32.
Manomètre à mercure.

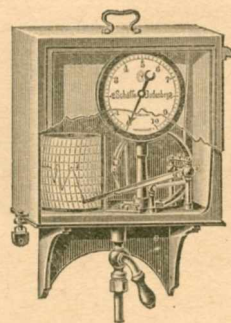


Fig. 33.
Manomètre enregistreur
Schaeffer et Budenberg.

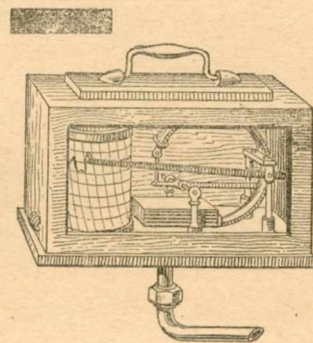


Fig. 34.
Manomètre enregistreur de Richard.

l'Administration n'a rien fait pour parer aux éventualités fâcheuses qui peuvent découler de cet état de choses.

De même que pour les appareils indicateurs de niveau, le chauffeur doit s'assurer fréquemment du fonctionnement normal du manomètre, qui doit marquer zéro quand la chaudière est sans pression, et le chiffre du timbre quand les soupapes crachent. Les tubes de verre des manomètres à mercure (fig. 32) devraient être constamment tenus propres et translucides ; quant aux manomètres métalliques, il faut ouvrir de temps à autre le robinet de purge dont ils sont pourvus. C'est la seule action du reste, que le chauffeur ait sur cet appareil, car il ne peut en vérifier l'exactitude qu'en le faisant comparer par un constructeur, avec un manomètre étalon.

Il existe encore un système de manomètre qui peut donner les meilleurs résultats aux industriels qui l'emploient. Nous voulons parler du système enregistreur construit par la maison Schaeffer et Budenberg et par Richard, et qui permet de relever les moindres variations de pression de la vapeur (fig. 33 et 34). On peut être assuré d'avoir le meilleur rendement possible d'un générateur quand on a l'enregistreur, car le chauffeur est ainsi constamment surveillé et a tout intérêt à bien faire son service, les moindres à coups dans la production de la vapeur étant marqués sur le diagramme, et le chef d'usine, par la seule

inspection de la feuille, se trouvant édifié sur la manière dont les feux ont été conduits. La courbe de mise en pression à l'allumage ainsi que celle des refroidissements sont intéressantes à connaître et le système enregistreur peut fournir de précieuses indications.

CONDUITE DE LA PRESSION. — Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons déjà dit sur la manière de conduire son feu et les moments où il faut, ou il ne faut pas alimenter. Nous ne dirons que quelques mots du maintien de la pression. Quand cette pression baisse, ce dont on s'aperçoit en consultant le manomètre, on active le feu et le tirage ; si, au contraire elle s'élève au-dessus du degré normal, on modère l'ardeur du foyer en manœuvrant le registre de la cheminée ; enfin si elle avait dépassé ce degré et devenue telle qu'on put redouter une explosion, il ne faudrait pas hésiter à jeter le feu à bas de la grille et à faire refroidir le générateur. De plus, si le niveau de l'eau le permet, il faut alors alimenter avec de l'eau froide : mais si ce niveau était descendu outre mesure il faudrait bien se garder d'envoyer la moindre goutte d'eau dans la chaudière.

NETTOYAGE DE LA CHAUDIÈRE. — Il serait difficile de préciser à quels intervalles il devient nécessaire de procéder au nettoyage d'une chaudière, car cela dépend de la qualité des eaux, de la durée de la marche, et d'une foule d'autres considérations secondaires. Le nettoyage est toujours une opération coûteuse, d'autant plus qu'elle occasionne un certain chômage, mais il faut se rappeler, d'autre part, qu'une chaudière sale perd une grande partie de sa puissance de vaporisation, si bien qu'il faut dépenser beaucoup plus de charbon qu'en temps normal pour développer la même quantité de vapeur. Il en résulte donc qu'il faut nettoyer assez souvent, surtout quand les eaux employées sont incrustantes et peuvent produire des dépôts adhérents aux tôles.

La chaudière, pour être nettoyée à fond, doit être rincée sous pression, de façon à chasser toutes les boues accumulées par un fonctionnement prolongé. Le chauffeur pénètre ensuite dans l'appareil par le trou d'homme et bat au marteau les incrustations, de manière à les détacher sans cependant altérer le métal par le choc de l'outil. Il balaye soigneusement au dehors toutes les croûtes et passe une couche de brai liquide ou de plombagine délayée dans l'eau sur toute la surface intérieure du générateur.

La chaudière bien grattée, nettoyée et enduite comme il vient d'être dit, le chauffeur pourra visiter ensuite toute la tuyauterie et la robinetterie qu'il manœuvre. Il s'assurera que tous les petits conduits des tubes indicateurs, du manomètre, des robinets de jauge, ne sont pas bouchés ; enfin il inspectera minutieusement toutes les parties de l'appareil producteur de vapeur tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, jusqu'au foyer et aux carneaux de chauffe. Il devra donc débarrasser parfaitement ces derniers des cendres et de la poussière qui s'y trouvent accumulées. Il faut surtout veiller aux fuites qui peuvent s'être produites aux tôles. Le son qu'elles rendent sous le choc du marteau, et, au besoin, un trou foré à l'endroit dou-

teux, indique s'il n'y a pas une soufflure, un amincissement ou une doublure, dus à un coup de feu, et qu'il faudrait réparer de suite, car on a observé qu'à ces endroits défectueux, il ne tarde pas à se produire une altération rapide du métal. A l'action mécanique du frottement de l'eau ou de la vapeur qui se produit à l'endroit disjoint, s'unit, en effet, l'action oxydante très active de l'humidité qui est désastreuse pour un métal exposé en même temps à l'air et à la chaleur.

REMISE EN SERVICE DE LA CHAUDIÈRE. — Le nettoyage terminé, on s'assure qu'aucun corps étranger, outil, etc., n'est resté à l'intérieur, on rebouche les trous d'homme, tampons de vidange, etc., et on refait les joints au minium. On procède ensuite au remplissage et on introduit suffisamment d'eau pour que le niveau dépasse de 10 à 15 centimètres la hauteur à laquelle on la maintiendra quand le générateur sera en marche.

Le feu est ensuite allumé, et pendant que l'eau s'échauffe on visite tous les joints pour voir s'ils sont bien étanches ; les soupapes restent ouvertes jusqu'à ce que l'ébullition commence. On les règle alors, puis on vérifie le bon état de l'appareil alimentaire, la marche du niveau, du manomètre, etc., enfin on fait jouer le registre de la cheminée pour reconnaître si la chaleur ne l'a pas fait serrer dans son cadre.

Remarquons, en terminant, que l'eau augmente de volume quand elle s'échauffe, et les indicateurs accusent une élévation de niveau avant même que l'on ait alimenté, ou lorsqu'on donne une issue à la vapeur produite. Ce phénomène de dilatation de l'eau est constant, et s'il ne se manifestait pas, on pourrait craindre qu'une fuite ne se fût produite dans le générateur ou ses accessoires.

Les explosions de chaudières à vapeur

TRAVAIL DU CHAUFFEUR. — Si l'on veut bien réfléchir un instant à tout ce qu'on réclame ordinairement d'un chauffeur, on demeurera surpris de la quantité de soins et de la multiplicité de travaux que l'on exige de ce modeste ouvrier. D'abord s'il ne fait qu'office de chauffeur, il a le plus souvent plusieurs chaudières à conduire ; s'il n'en a qu'une il doit s'occuper de la machine. Il arrive à l'usine longtemps avant les autres ouvriers et en sort le dernier : même pendant les heures de repas, il ne peut abandonner son poste. Son travail surpasse donc en durée celui de ses compagnons de labeur. Sa besogne ensuite, est particulièrement pénible : au lieu d'être à l'établi, au soleil, il doit rester dans une fosse profonde où il ne respire qu'un air vicié et chargé de poussières et où il règne une température si élevée qu'on a donné à ce lieu le nom caractéristique d'*enfer*. Sa profession est aussi périlleuse que fatigante : le graissage des organes et transmissions en mouvement, la pose des courroies

sans arrêt des poulies, etc., constituent des travaux fort dangereux. La vapeur s'échappant des soupapes, les gouttes d'eau bouillante tombant des robinets, les bris du tube indicateur de niveau brûlent ou blessent le chauffeur. Quand un accident survient, c'est lui qui est d'abord atteint, et les brûlures de l'eau bouillante et de la vapeur, si douloureuses, ne pardonnent guère.

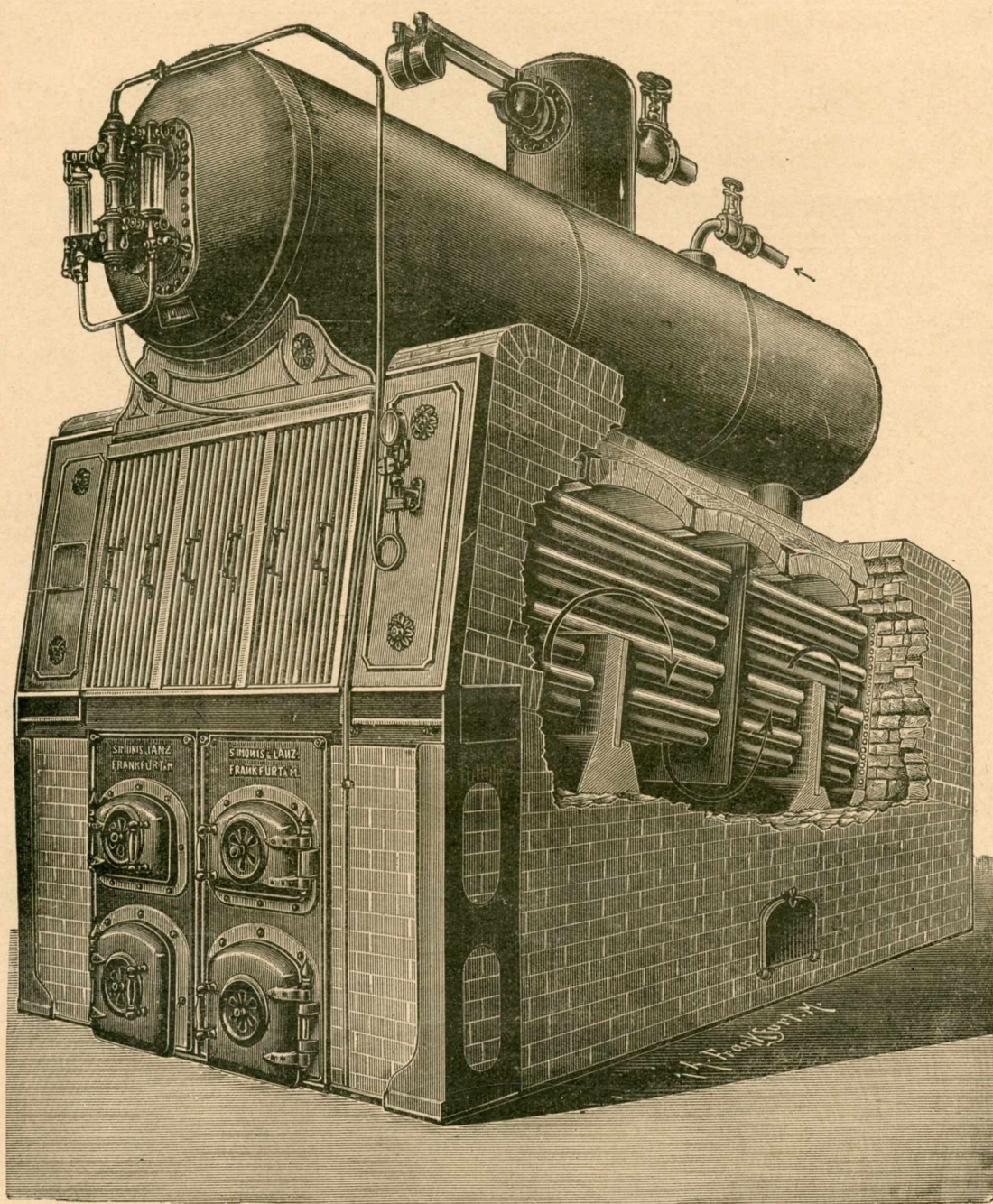


Fig. 35. — Chaudière Simonis et Lanz.

On dit souvent, quand une explosion de chaudière s'est produite, qu'elle est due à l'incurie du chauffeur. Nous verrons plus loin que cette accusation est souvent injuste. Le chauffeur craint le danger comme toute autre personne, et il ne pousserait pas la négligence

jusqu'à exposer sa vie. Mais, comme le plus souvent, il est la première victime de l'accident, il ne peut se défendre, et si, par hasard il survit, on ne croît guère à ses affirmations. Il est beaucoup plus simple et plus commode de lui imputer une négligence, que souvent il n'a pas commise, car un chauffeur connaissant son métier n'ira pas commettre volontairement une imprudence qui peut lui coûter la vie. Il est vrai qu'une machine n'est pas toujours conduite par quelqu'un de bien expérimenté, car les chefs d'usines considérant un chauffeur comme

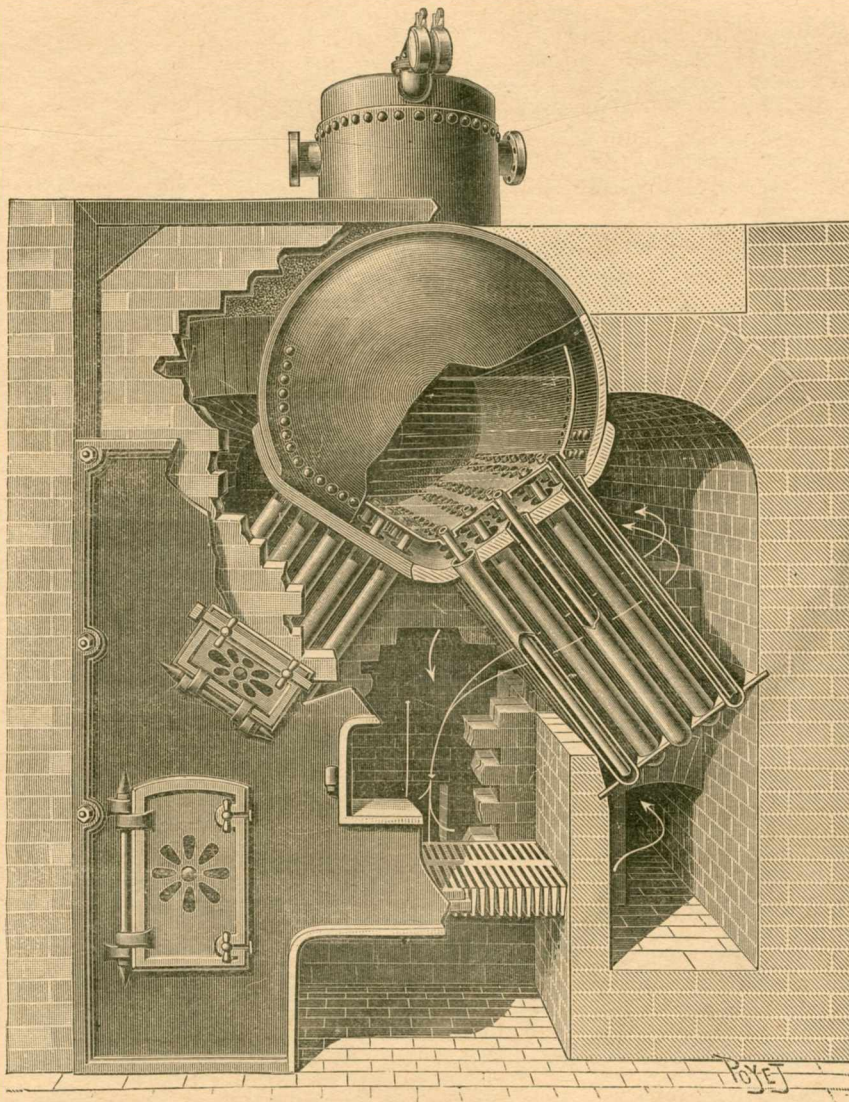


Fig. 36. — Générateur Turgan.

une charge, une dépense inutile, ils préfèrent souvent celui qui demande le salaire le moins élevé. On a alors un chauffeur d'occasion, ignorant souvent les premières conditions qu'il est nécessaire d'observer pour assurer la conservation du générateur, et qui commettra par suite, et sans s'en douter, les plus graves imprudences. On peut le dire : dans ce cas encore, on en a pour son argent ; un bon chauffeur économisera largement le salaire qu'on lui donnera par une utilisation judicieuse de tous les éléments dont il dispose, un manoeuvre

ignorant sera constamment à la merci d'un dérangement imprévu, et avec lui la machine sera sous la menace permanente d'un danger d'explosion.

Il est donc à la fois équitable et économique d'avoir un chauffeur occupé seulement à la conduite de son feu et à l'entretien de sa chaudière, plutôt qu'un ouvrier chargé de cette besogne comme surplus. Si le moteur est de faible puissance, jusqu'à 10 ou 20 chevaux, le chauffeur peut être en même temps mécanicien et assurer le fonctionnement de la machine entière ; mais avec les importantes moteurs d'usine, où le générateur est séparé du mécanisme, il faut des mécaniciens et des chauffeurs.

Les explosions de chaudières sont des accidents très redoutés, et cependant encore trop fréquents. Souvent l'opinion publique est douloureusement émue par le récit d'accidents ayant causé la mort d'un grand nombre d'ouvriers, et l'on demande les moyens de prévenir le retour de pareils malheurs. Le seul moyen consiste à rechercher avec le plus grand soin les causes qui ont produit les explosions connues, afin d'éviter leur retour à l'avenir. A chaque accident de chaudière, il est fait une enquête approfondie, et une statistique publiée par le Ministère des Travaux Publics donne les chiffres suivants pour la répartition des accidents arrivés en France avec les appareils à vapeur pendant quatre années.

1° Conditions défectueuses d'établissement, construction, disposition, installation ou matières défectueuses.	43
2° Conditions défectueuses d'entretien, usure, fatigue ou amincissement du métal, corrosions extérieures. Réparations non faites ou défectueuses. Congélation de l'eau dans les tuyaux pendant le chômage.	54
3° Mauvais emploi des appareils, manque d'eau, suivi ou non d'alimentation intempestive, excès de pression, imprudences et négligences diverses. . . .	83
4° Causes inconnues ou incomplètement déterminées.	13
Total.	198

L'appréciation des causes ayant déterminé une explosion est toujours très délicate, d'autant plus que l'aspect des débris peut donner des indications erronées, et qu'un accident peut être dû à plusieurs causes simultanées. La proportion des causes demeurées inconnues n'est guère que de 4 pour 100. Nous examinerons successivement les quatre catégories d'accidents que nous venons d'établir, de façon à mettre les industriels et les chauffeurs en garde contre les dangers qui résultent des conditions défectueuses de construction ou d'entretien.

CONDITIONS DÉFECTUEUSES D'ÉTABLISSEMENT. — Dans les chaudières à surfaces planes, des explosions ont lieu à la suite de la rupture des entretoises destinées à consolider ces surfaces, et qui étaient d'un diamètre insuffisant. Dans d'autres cas, les joints des tôles

forment des lignes continues de moindre résistance qu'il eut été facile d'éviter. Des bouilleurs intérieurs ne sont pas suffisamment consolidés pour résister à la pression de la vapeur qui tend à les comprimer et à les aplatis. Souvent aussi des matériaux de qualité inférieure sont employés dans la construction, le métal est aigre et cassant, etc. Enfin, les appareils de sûreté sont mal combinés, ne donnent que des résultats erronés, et il est dangereux de se fier aux indications qu'ils fournissent.

CONDITIONS DÉFECTUEUSES D'ENTRETIEN. — Les chaudières s'usent rapidement quand on les entretient mal, quand on emploie des eaux de mauvaise qualité pour l'alimen-

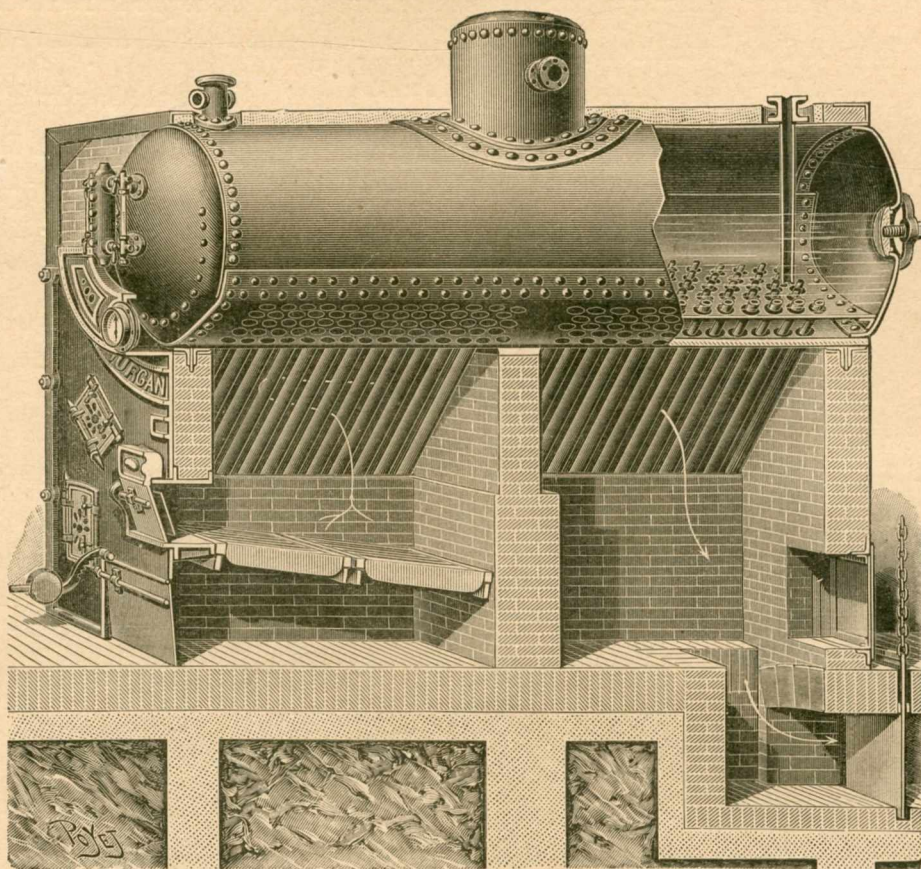


Fig. 37. — Chaudière Turgan.

tation, quand on ne prévient et n'arrête pas immédiatement les corrosions. Les réparations omises ou mal faites sont aussi une cause d'accidents nombreux, qui pourraient être évités par des visites fréquentes du générateur, l'essai de la résistance au moyen de la presse hydraulique, et la réparation immédiate des parties faibles ou détériorées.

MAUVAIS EMPLOI DES CHAUDIÈRES. — C'est la cause la plus commune des explosions, et qui se présente dans la moitié des cas, aussi nous y attacherons-nous un peu plus longuement.

Le plus souvent l'explosion se produit parce que le niveau s'est trouvé abaissé

au-dessous de son point normal, pour une raison quelconque. Les tuyaux de la pompe alimentaire, obstrués ou ayant des rentrées d'air n'ont pas débité assez d'eau, ou bien une fuite s'est produit, ou encore l'eau a gelé dans les conduites, enfin, il arrive que les tôles qui devraient être recouvertes d'eau sont à sec et rougissent. Quand l'eau parvient au contact du métal incandescent, une surpression se produit que les soupapes ne peuvent diminuer suffisamment, et la paroi, qui a perdu une partie de sa résistance, se déchire brusquement.

Il paraît simple de dire que le chauffeur doit mettre bas ses feux quand il s'aperçoit d'un semblable état de choses, mais, en pratique, ce n'est pas toujours si facile qu'on se le

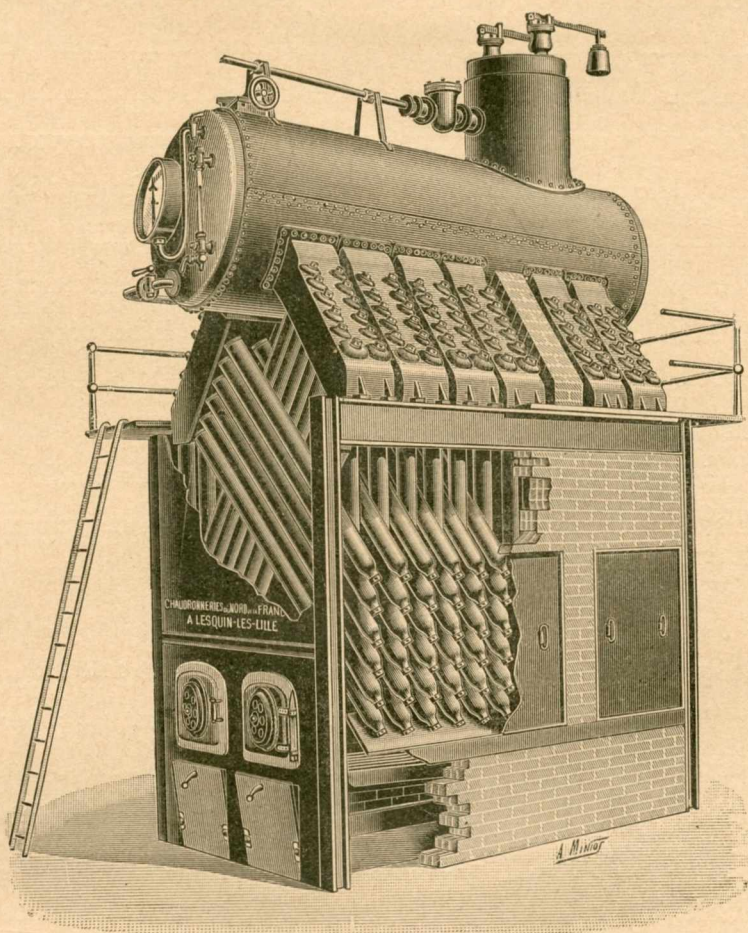


Fig. 38. — Générateur en X., système Borrot.

figure. Le chauffeur, comme tout employé, craint, en arrêtant ainsi la marche de l'usine, dont sa chaudière est l'âme, de perdre sa place, car le propriétaire n'entre pas dans de semblables considérations : il faut que ses ateliers marchent, et si la machine ne fonctionne pas, c'est que le chauffeur est un incapable qui doit être congédié. Et les industriels sont fondés à croire qu'ils ont raison en pensant ainsi, car des ingénieurs n'ont pas hésité, en traitant la question, à affirmer qu'un abaissement extraordinaire du niveau de l'eau dans la chaudière est *toujours* dû à la négligence du chauffeur. Cette affirmation est à la fois inexacte et injuste, mais il en résulte que, le chauffeur sachant qu'il sera toujours le bouc

émissaire, est obligé de ne pas jeter bas les feux quand cependant la sécurité le commanderait, et ce, pour ne pas être renvoyé. Un pareil état de choses est très regrettable.

Dès le début du chauffage matinal, il peut se présenter une circonstance grave : les appareils de niveau n'indiquent pas d'eau, bien qu'on en ait laissée la veille au soir à une bonne hauteur. Nous avons dit que cet abaissement était dû à la contraction du volume de l'eau sous l'influence du refroidissement nocturne et d'une condensation de la vapeur restant dans le générateur. Ces causes sont normales, bien qu'elles varient avec la forme et les dimensions de la chaudière; le chauffeur les connaît et sait en apprécier l'importance, mais d'autres circonstances sont anormales; l'ouvrier ordinaire n'y songe pas et seul le chauffeur expérimenté sait les discerner et quelquefois les prévenir. Donc, la hauteur exacte de l'eau étant inconnue et les dangers d'un coup de feu étant à redouter, le chauffeur, au lieu d'activer son feu, devrait, au contraire, l'arrêter, et prévenir le patron qui ne manquerait pas de le congédier immédiatement. Pour éviter ce renvoi, il se résigne donc à commettre une imprudence, et il continue à chauffer et, dès que la pression est suffisante, il fait fonctionner l'appareil alimentaire jusqu'à ce que l'eau soit remontée à son niveau normal. Il n'y aura que dans le cas où il aura reconnu que l'eau s'est écoulée par une fuite survenue pendant la nuit, et que le niveau s'est par trop abaissé, qu'il mettra bas son feu. Un ouvrier inexpérimenté ne fera pas cette remarque et la tôle pourra recevoir un coup de feu, ou une explosion se produira. Il y a plusieurs exemples d'accidents survenus dans ces conditions.

Ces circonstances peuvent avoir une gravité toute particulière quand le générateur est pourvu de réchauffeurs latéraux ordinairement non munis d'appareils indicateurs du niveau, ce qui fait que le chauffeur ignore absolument ce qui se passe dans cette partie de la chaudière. En conséquence, aussitôt après la mise en marche de la machine, dès que le niveau baisse, le chauffeur fait fonctionner la pompe alimentaire, mais ce niveau continue à baisser et disparaît au-dessous de la garniture. L'ouvrier visite toutes les parties de la pompe et s'assure que tout est en ordre; il est donc certain que l'eau va reparaitre dans le tube indicateur, quand soudain l'explosion se produit. C'est que l'alimentation s'est faite, non dans le corps de la chaudière, mais dans les réchauffeurs qui se trouvant vides pour une raison quelconque, et sans que le chauffeur ait pu s'en douter doivent d'abord se remplir avant de déverser une seule goutte d'eau dans la chaudière, qui a le temps d'être portée au rouge. Il n'est pas juste de dire que le chauffeur a été imprudent ou incapable, quand une explosion se produit dans ces conditions.

Il faut bien l'avouer, beaucoup d'industriels ont des chaudières à vapeur trop faibles pour leurs besoins; cela tient à plusieurs causes :

D'abord, lors de l'installation de leurs appareils, ils ne se rendent pas suffisamment compte de la quantité de vapeur qui leur est nécessaire; la somme à dépenser varie naturellement avec la puissance des appareils et ils ont une tendance bien naturelle à diminuer ces premiers frais. C'est ce même motif qui les pousse à acquérir des appareils d'occasion.

Ensuite leurs besoins s'augmentent, et, lorsqu'une chaudière est suffisante dans le principe, elle devient souvent trop faible plus ou moins longtemps après son installation. Il faut presque

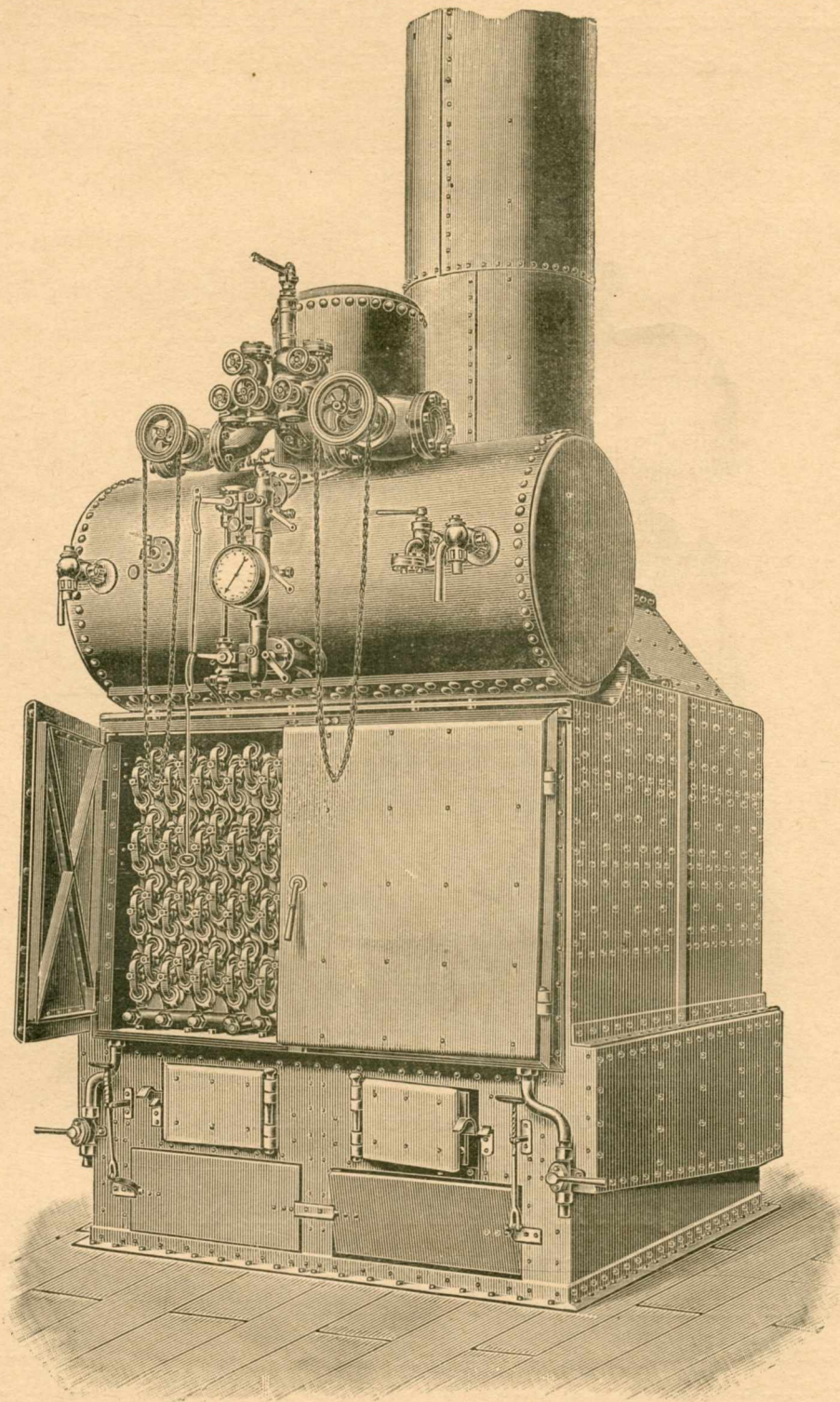


Fig. 39. — Chaudière Niclausse type marine.

toujours des motifs bien sérieux pour obliger les usiniers à remplacer une chaudière par une autre plus puissante ou à en installer une nouvelle. Enfin, il est rare que le travail de l'usine

soit parfaitement régulier, et effectivement il ne l'est jamais quand on utilise la vapeur pour certains chauffages. La production est alors naturellement obligée de suivre les besoins; c'est spécialement pour ces usines que les chaudières doivent, suivant l'expression consacrée, marcher à coups de collier. La question se complique encore lorsque la chaudière porte la machine, qu'il s'agisse d'appareils dits demi-fixes ou locomobiles. Les constructeurs de ces

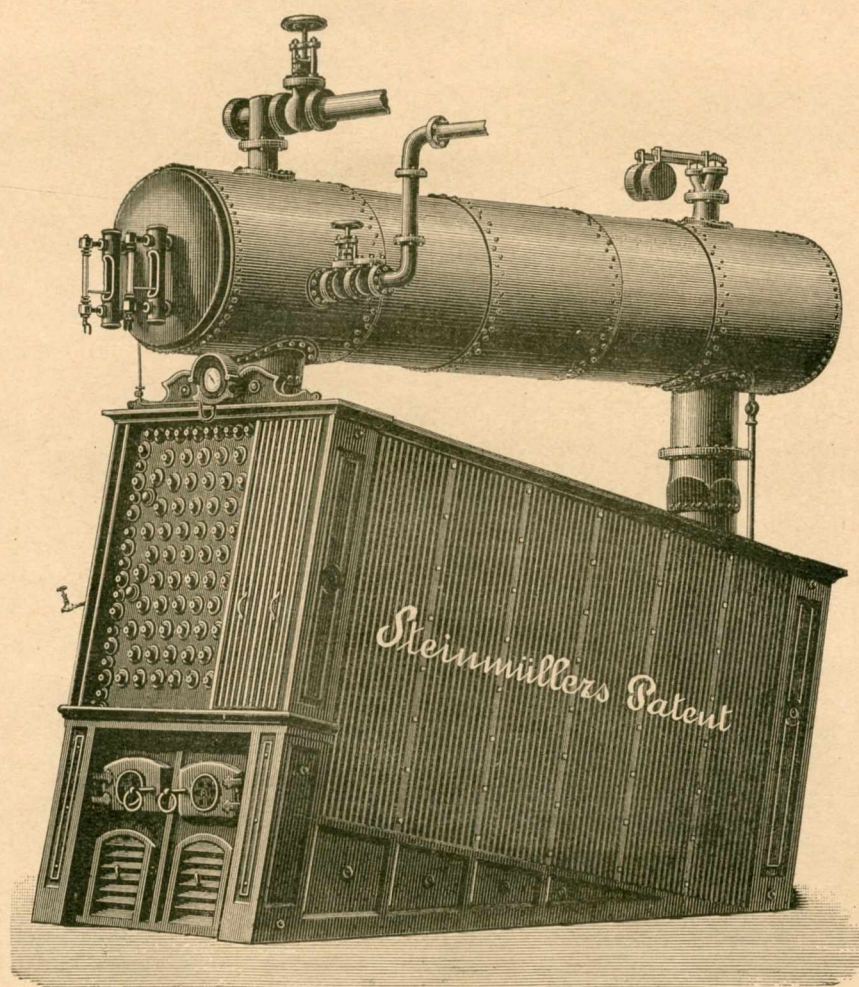


Fig. 40. — Générateur Steinmüllers.

appareils, pour ne pas dépasser les prix courants, ou même rester en dessous de ces prix, limitent actuellement au strict nécessaire la capacité productrice de vapeur correspondant à la force indiquée pour la machine.

Pour faire développer à la machine la puissance qui leur est effectivement nécessaire, il suffit aux industriels d'en augmenter la vitesse, ou la pression de marche; ou encore de diminuer la détente; mais ces changements ne peuvent se faire sans une augmentation de production de vapeur.

Dans tous les cas que nous venons d'examiner, et ils sont malheureusement fréquents, la chaudière est FORCÉE, nous en montrons plus loin les fâcheuses conséquences;

souvent aussi les soupapes *doivent être surchargées*, à moins que, de concert avec l'administration, l'industriel n'augmente le timbre de la chaudière, ce qui produit le même résultat de surcharge qu'aggrave encore la détérioration de la chaudière par l'épreuve à haute pression.

Doit-on rendre le chauffeur responsable d'un pareil état de choses, et peut-on le blâmer d'accepter une situation semblable, alors qu'il attend après son salaire pour nourrir sa famille?... (1).

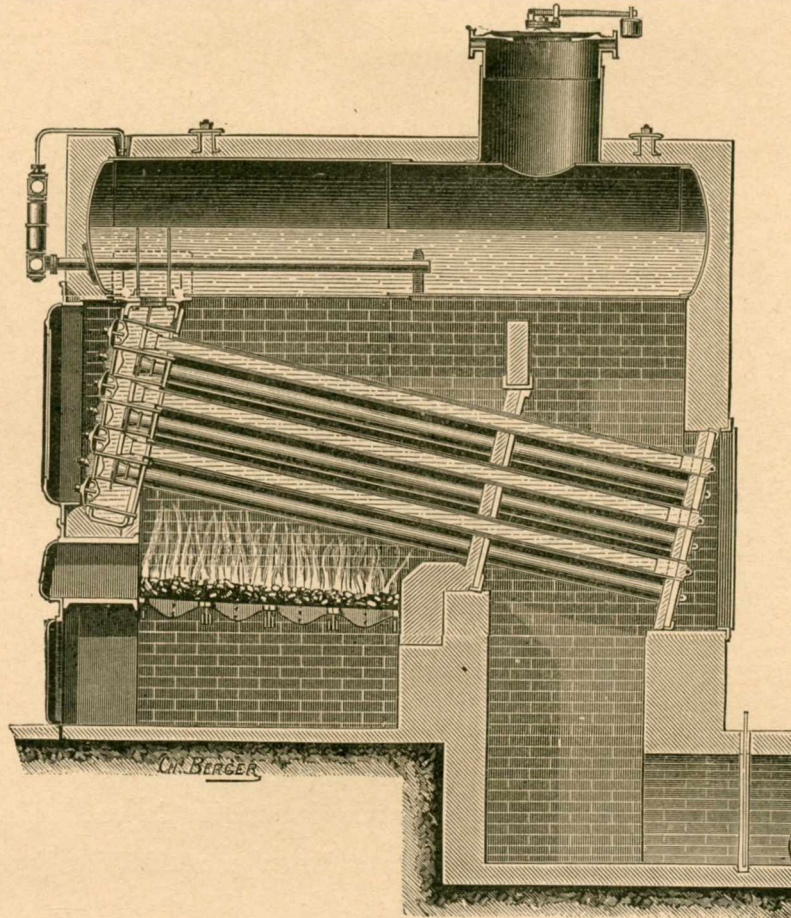


Fig. 41. — Générateur multitubulaire système Joya.

D'autres causes encore peuvent amener la rupture de la chaudière. Pendant le dégrassage de la grille, par exemple, l'air froid qui s'engouffre par la porte ouverte du foyer, refroidit et contracte les tôles exposées au feu. La contraction peut même être assez brusque pour provoquer la rupture du métal, ainsi qu'on l'a constaté lors d'une explosion à la sucrerie de Berlaumont.

Mais le plus souvent ce déchirement de l'enveloppe métallique est amené par une

(1) *Les Explosions de Chaudières à vapeur*, par M. Hervier, ingénieur civil des mines, 1 volume illustré, prix 6 francs. E. Bernard et C^{ie}, éditeurs.

alimentation inopinée. L'appareil d'alimentation s'est obstrué, ou la soupape de retenue a laissé échapper l'eau; le niveau s'est abaissé, les tôles ont rougi, et quand l'eau revient, il en résulte un accident.

Nous ne reviendrons pas sur la question des appareils indicateurs du niveau, soit à tubes, soit magnétiques, soit à flotteurs. Nous avons dit que tous sans exception sont sujets

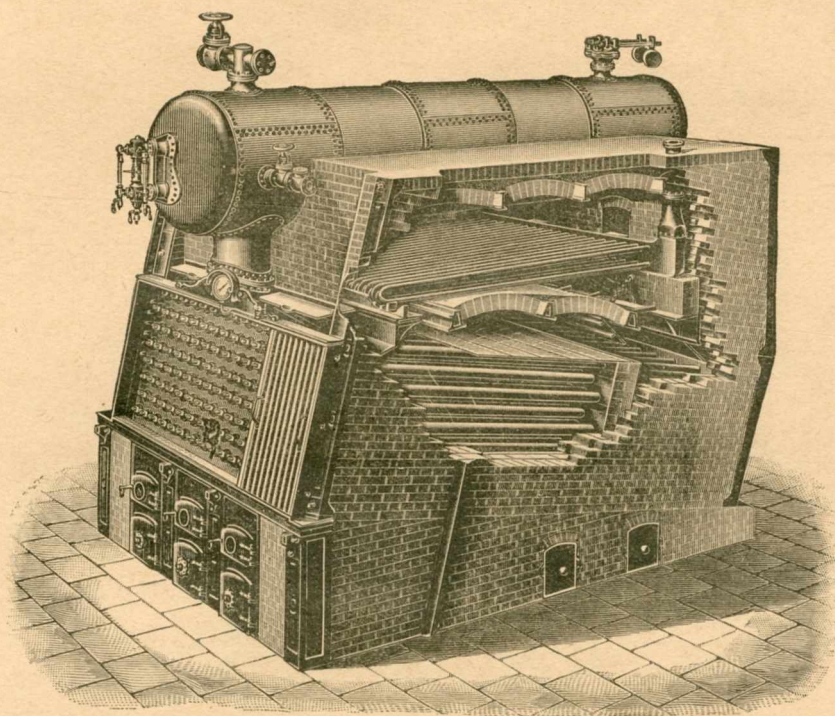


Fig. 42. — Surchauffeur Steinmüllers.

à caution et qu'il est nécessaire d'en vérifier fréquemment le fonctionnement pour leur accorder une certaine créance. C'est de la marche imparfaite de ces indicateurs accusant une hauteur normale d'eau dans la chaudière, tandis qu'en réalité, il n'y en avait presque plus, qu'a résulté plus d'une catastrophe.

EXCÈS DE PRESSION. — SURCHARGE DES SOUPAPES DE SURETÉ. — On considère bien à tort que le timbre appliqué par l'Administration des Mines sur les chaudières est la limite extrême de la pression de sécurité, et cependant on règle les soupapes de manière à laisser écouler la vapeur dès que la pression effective atteint cette limite. Mais comme on prend pour base du calcul des soupapes le diamètre intérieur de l'orifice, il arrive que les soupapes crachent avant d'arriver à la pression maximum indiquée par le timbre. Il en résulte que, pour avoir sa pression réglementaire, le chauffeur est tenté de surcharger ses soupapes.

C'est assurément fort imprudent, mais toutes les apparences sont pour lui, car, d'une part, presque toujours les soupapes se soulèvent réellement sous une pression moindre

que celle pour laquelle elles ont été calculées, et, d'autre part, le chauffeur n'ignore pas, on le lui a dit et répété souvent, que, lors de l'épreuve d'une chaudière, on élève la pression au double de celle ordinaire de marche. Il croit, de bonne foi, que la chaudière peut supporter des pressions plus élevées et qu'une faible surcharge ne peut avoir aucun inconvénient.

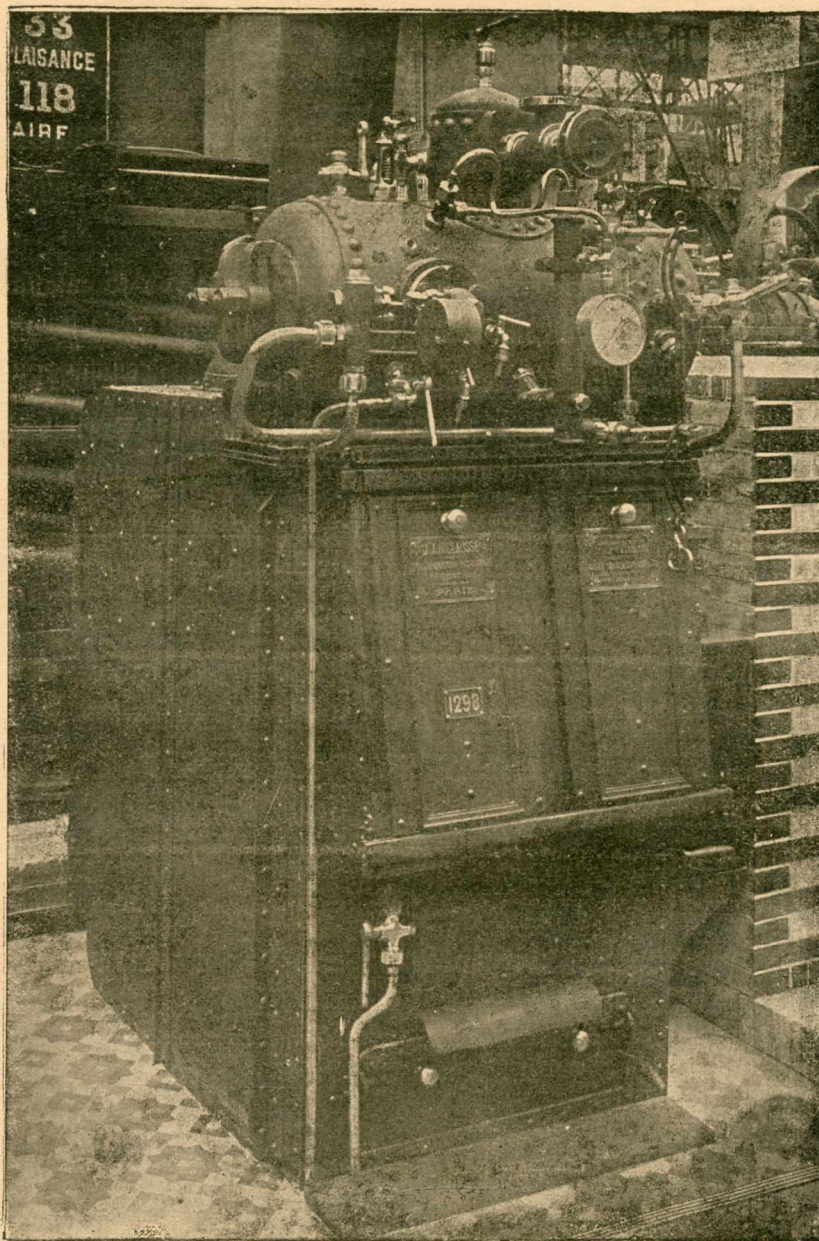


Fig. 43. — Chaudière Niclausse, type transportable

Cette observation, que l'on nous a faite des centaines de fois, est une des conséquences pratiques de la surcharge trop forte de l'épreuve officielle. C'est plus spécialement aux chauffeurs qu'il faut dire et répéter que cette surcharge d'épreuve est mauvaise et cause à la chaudière des avaries telles qu'elle peut faire explosion, quelques jours après, sous une

pression même intérieure à celle du timbre. Quand ils en seront bien convaincus, les chauffeurs ne surchargeront plus les soupapes de sûreté.

En attendant, nous croyons qu'il est utile de tenir les poids un peu forts, et de ne laisser souffler les soupapes qu'à une pression légèrement plus élevée que celle du timbre, pour qu'il y ait concordance entre la pression indiquée par ces appareils, et celle du manomètre. « Un certain excès de pression, pourvu qu'il soit contenu dans de justes limites, chose « toujours facile, présente peu d'inconvénients », dit M. Couche, Inspecteur général des Mines.

Il a pu arriver que les soupapes aient été calées par l'ordre du propriétaire ou de l'entrepreneur quand la chaudière était trop faible pour le travail qu'on exigeait, dit M. Hervier, mais je n'ai jamais eu l'occasion de voir ce calage provenir du fait du chauffeur lui-même, ce que, du reste, je n'aurais jamais cru ; car j'estime que ce calage constitue, non une imprudence, une témérité, une folie comme on l'a toujours dit, mais une sottise insigne, créant un danger certain et immédiat, sans aucune compensation, le chauffeur n'ayant aucun intérêt à agir ainsi. Et je pense, qu'il est certain que c'est à tort que l'on a accusé des chauffeurs d'avoir calé leurs soupapes. »

Il y a encore des explosions dont les causes restent obscures, mal déterminées, malgré l'enquête dont elles sont l'objet. Qui peut supposer qu'il s'est produit le phénomène de la *caléfaction*, dans lequel l'eau prend l'état sphéroïdal ou bien qu'une surproduction instantanée de vapeur a eu lieu, l'eau de la chaudière étant parvenue sans bouillir à une température supérieure à 100 degrés, le générateur étant vide d'air. Alors le moindre choc, une cause extérieure quelconque, peut amener une ébullition tumultueuse, une vaporisation instantanée à laquelle les tôles ne peuvent résister, et là encore, le chauffeur ne peut être incriminé.

Nous en avons terminé maintenant avec les soins à donner aux générateurs de vapeur ; dans un autre chapitre, nous étudierons les appareils qui reçoivent cette vapeur et transforment son énergie calorifique en énergie de mouvement : les moteurs.

II. DE GRAFFIGNY.

