

## CHAUDIÈRES A HAUTE PRESSION <sup>(1)</sup>

Les constructeurs et inventeurs se sont ingénies, dans ces dernières années, à diminuer la consommation de vapeur par cheval-heure des machines motrices. Les perfectionnements ont porté sur les chaudières et sur les moteurs. C'est naturellement aux grandes stations centrales électriques qu'on a songé tout d'abord, mais quelques-uns de ces perfectionnements paraissent utilisables sur les locomotives.

Pour augmenter le rendement thermique du moteur, il n'y a que deux voies possibles : augmenter la pression de la vapeur et augmenter sa température.

Il y a des limites à l'accroissement de la température qui sont imposées, d'une part, par la nécessité de ne pas volatiliser ni décomposer l'huile de graissage dans les moteurs à pistons, d'autre part, de ne pas trop affaiblir la résistance du métal qui entre dans la construction du moteur. On admet, en général, qu'il convient de ne pas dépasser 400° pour la température de la vapeur. Reste l'augmentation de pression de la vapeur et c'est dans cette voie qu'on s'achemine actuellement. La question du mode de construction de la chaudière prend alors une importance capitale. Il faut, d'une part, garder la parfaite sécurité de fonctionnement et, d'autre part, conserver un bon rendement qui, pour les chaudières actuelles chauffées au charbon pulvérisé, est de l'ordre de 80 %. Nous allons examiner successivement les solutions les plus originales et les plus intéressantes qui ont été proposées.

*Chaudière Atmos.* — Dans cette chaudière, on s'est proposé de réaliser la sécurité la plus grande de fonctionnement et de faciliter la transmission de chaleur produite dans le foyer à l'eau de la chaudière.

Quand on veut aborder des pressions de l'ordre de 100 kg on éprouve de grosses difficultés avec les chaudières à tubes d'eau actuelles à cause des collecteurs cylindriques de grand diamètre qu'elles exigent. On aboutit, en effet, à des collecteurs de très grand diamètre, 1 m au moins, qui doivent être obtenus sans soudure avec une épaisseur qui dépasse 100 mm. Il faut, pour cela un outillage très puissant qui n'existe que dans de rares usines. On est donc conduit à réaliser une chaudière en petits tubes seulement ; on obtient ainsi une bonne résistance aux efforts de tension et de dilatation et on réduit beaucoup le danger d'une explosion. Mais les petits tubes présentent un inconvénient : la vapeur formée a beaucoup de peine à se dégager ; il se forme alors sur la paroi du tube une écume d'eau et de vapeur qui empêche l'eau de venir en contact avec la surface de chauffe et la vapeur ne se dégage plus que par pulsations successives. La quantité d'eau vaporisée est donc relativement faible et les parois des tubes sont exposées à des coups de feu, surtout s'il y a le moindre entartrément.

(1) Extrait de *l'Elettrotecnica*, du 25 Mai au 25 Juin 1925

En traitant la question par le calcul, on trouve que, pour des tubes de 19 mm d'épaisseur, comme ceux de la chaudière *Atmos* (diamètre 304 mm), et une pression de 105 kg correspondant à une température de vapeur saturée de 320°, il faut que l'échange de vapeur par m<sup>2</sup> heure de surface de chauffe, soit de l'ordre de 10.000 grandes calories pour que la température de la paroi du tube ne dépasse pas les limites admissibles pour la parfaite sécurité. Pour atteindre un coefficient de transmission aussi élevé, il est indispensable que la vapeur aussitôt formée s'éloigne de la paroi du tube.

Cette condition est réalisée dans la chaudière *Atmos* en utilisant la force centrifuge de l'eau, pour cela on maintient en rotation rapide les tubes vaporisateurs; l'eau est projetée sur la paroi et la vapeur se dégage dans l'espace circulaire créé dans l'axe du tube. Les figures 1 et 2 représentent une des chaudières *Atmos* les plus récentes, installée en Novembre 1923 dans la raffinerie de sucre de Göteborg en Suède.

Fig. 1. — CHAUDIÈRE ATMOS.  
(coupe longitudinale)

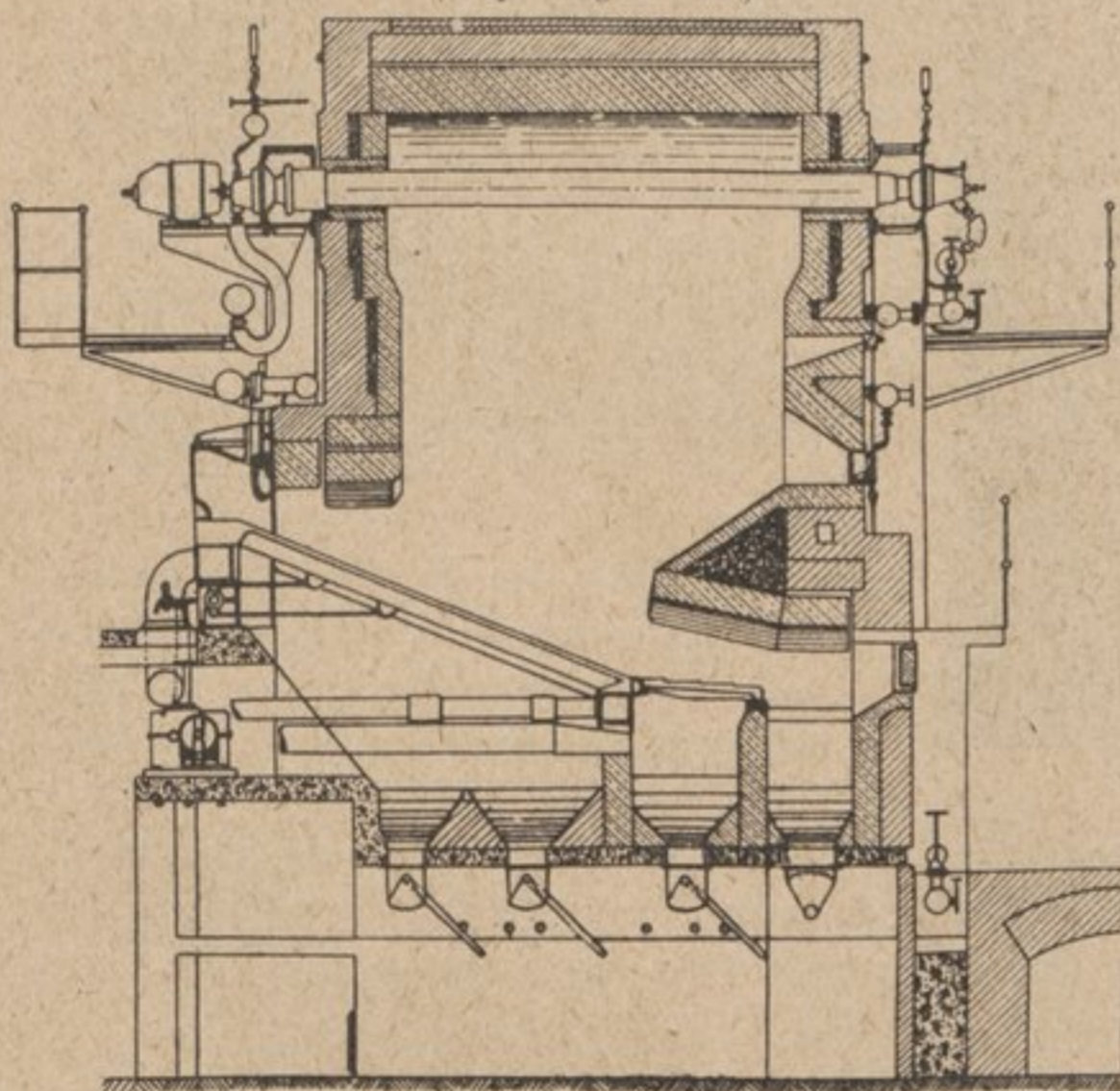
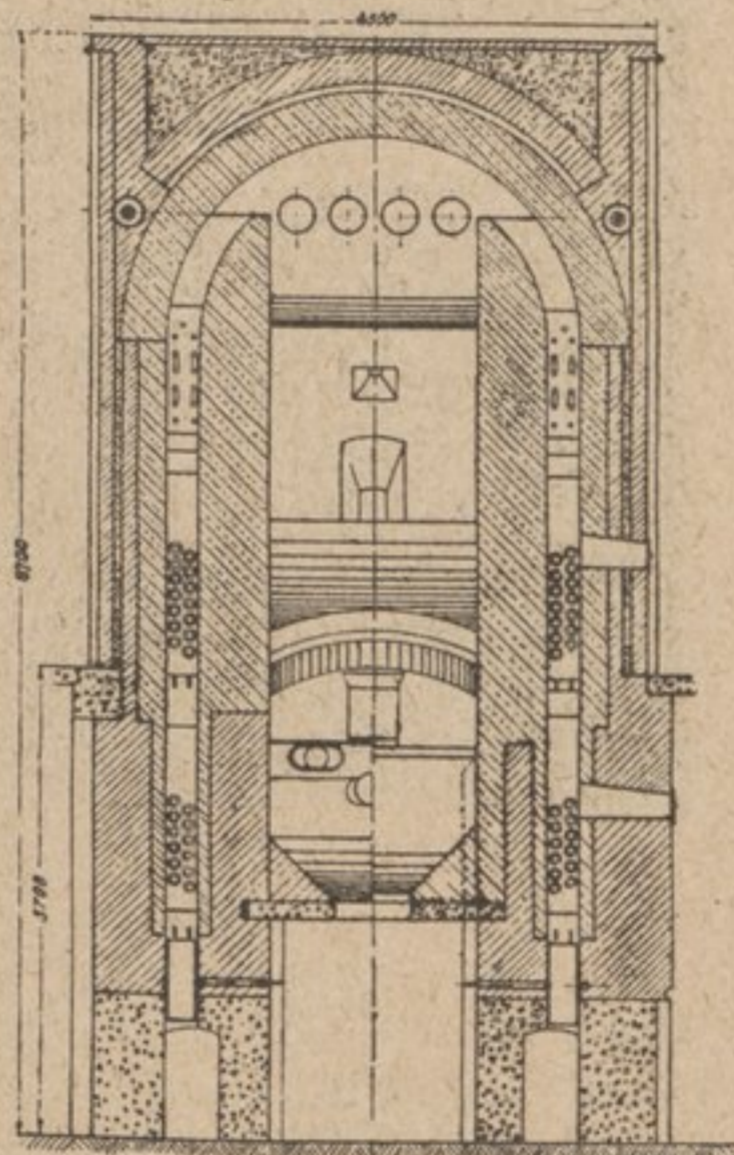


Fig. 2. — CHAUDIÈRE ATMOS.  
(coupe transversale)



La chaudière contient quatre tubes vaporisateurs placés sur un même rang horizontal en haut du foyer. Les extrémités des tubes traversent les parois en briques de la chaudière et sont fermés par deux têtes munies de rotules permettant la rotation du tube suivant son axe longitudinal. Une de ces têtes est soudée au tube, l'autre est fixée par une bride avec des boulons, de façon à pouvoir la démonter et visiter l'intérieur du tube. L'une des rotules est construite de façon à permettre un déplacement longitudinal du tube pour suivre la dilatation. Un petit moteur électrique ou une petite turbine à vapeur montée sur un socle entraîne le tube par engrenages à la vitesse de 300 tours à la minute,

La dynamo est visible sur la figure 3. La chaudière est munie du type de grille le plus convenable au charbon qu'on emploie.

Les gaz de combustion s'élèvent d'abord dans le foyer, vont lécher les quatre tubes vaporisateurs, sont rabattus ensuite sur les côtés et traversent une série de tubes fixes. D'abord,

les tubes du surchauffeur, puis les tubes du réchauffeur d'eau d'alimentation, qui se divisent en deux groupes placés en série ; ils arrivent ainsi au bas de la chaudière et repartent par le conduit de fumée (Voir Fig. 2).

Si l'eau d'alimentation est suffisamment pure, on l'envoie directement à la partie inférieure du réchauffeur. L'eau parcourt successivement les deux parties des tubes du réchauffeur où elle

s'échauffe jusqu'à la température de l'ébullition. Elle est conduite de là sur la façade de chaudière et introduite dans les tubes vaporisateurs. Si l'eau est impure, on commence par la purifier. Dans quelques installations, cette purification est faite de la manière suivante :

On envoie l'eau à la pression de 20 kg à la première section du réchauffeur, elle en sort à 150°. On la soumet alors au traitement de purification et on la refoule à la pression définitive dans la deuxième section du réchauffeur.

La vapeur qui peut se former dans le réchauffeur se dégage directement dans le surchauffeur.

Les figures 3, 4, 5 et 6 montrent la constitution des têtes des tubes vaporisateurs. L'eau arrive du réchauffeur par le tube L relié à la partie fixe du tube. Elle pénètre dans la partie mobile en traversant le tube A qui a un diamètre de 38 mm. Ce tube tourne dans un presse-étoupe. Le graissage se fait en envoyant de l'huile par l'anneau F

au milieu du presse-étoupe. La consommation d'huile est très faible. La tête du tube est en acier moulé et reliée au tube par une bride et des boulons. Elle tourne dans cette bride sur un support à rotule G. La bride, qu'on peut facilement enlever pour l'inspection du tube, porte un pignon denté H entraîné par le moteur.

Fig. 3. — CHAUDIÈRE ATMOS, Façade N.

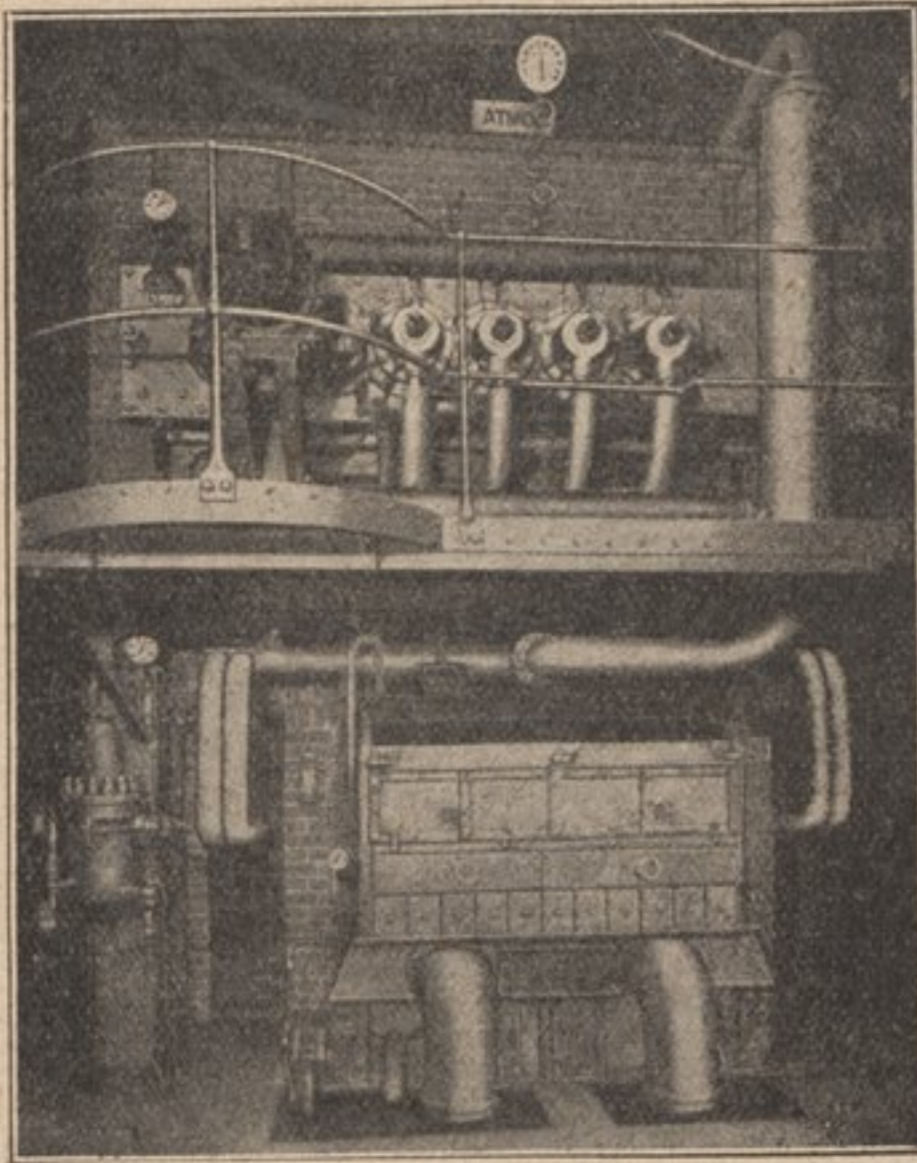


Fig. 4. — CHAUDIÈRE ATMOS, Tête A.

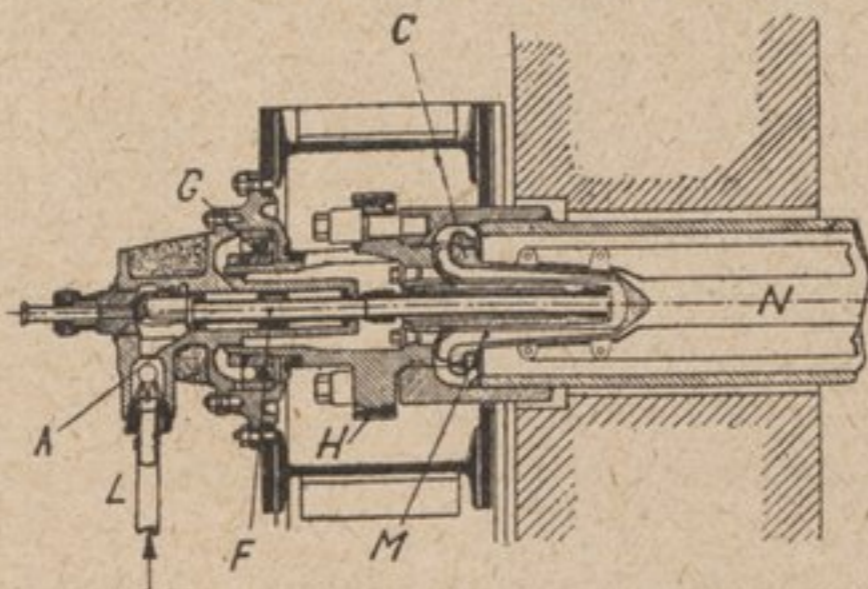
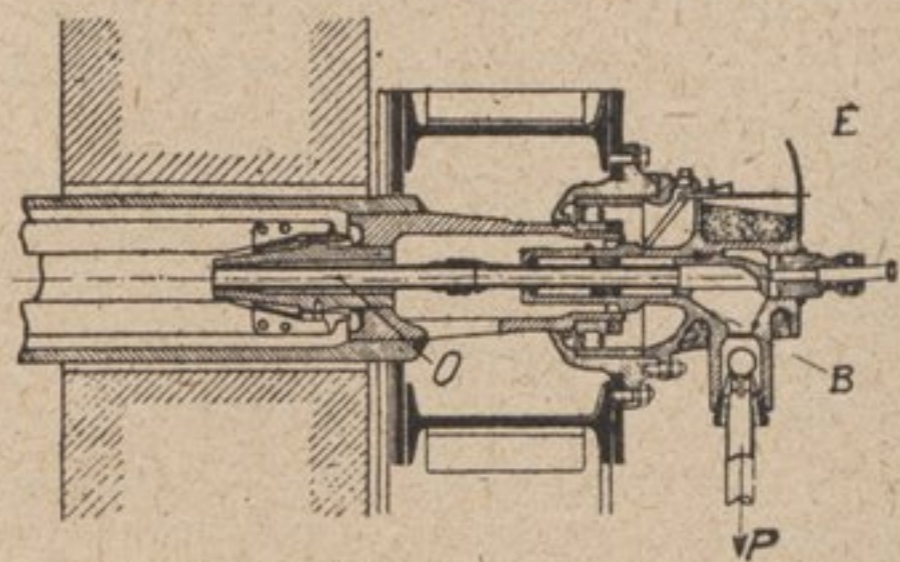


Fig. 5. — CHAUDIÈRE ATMOS, Tête B.

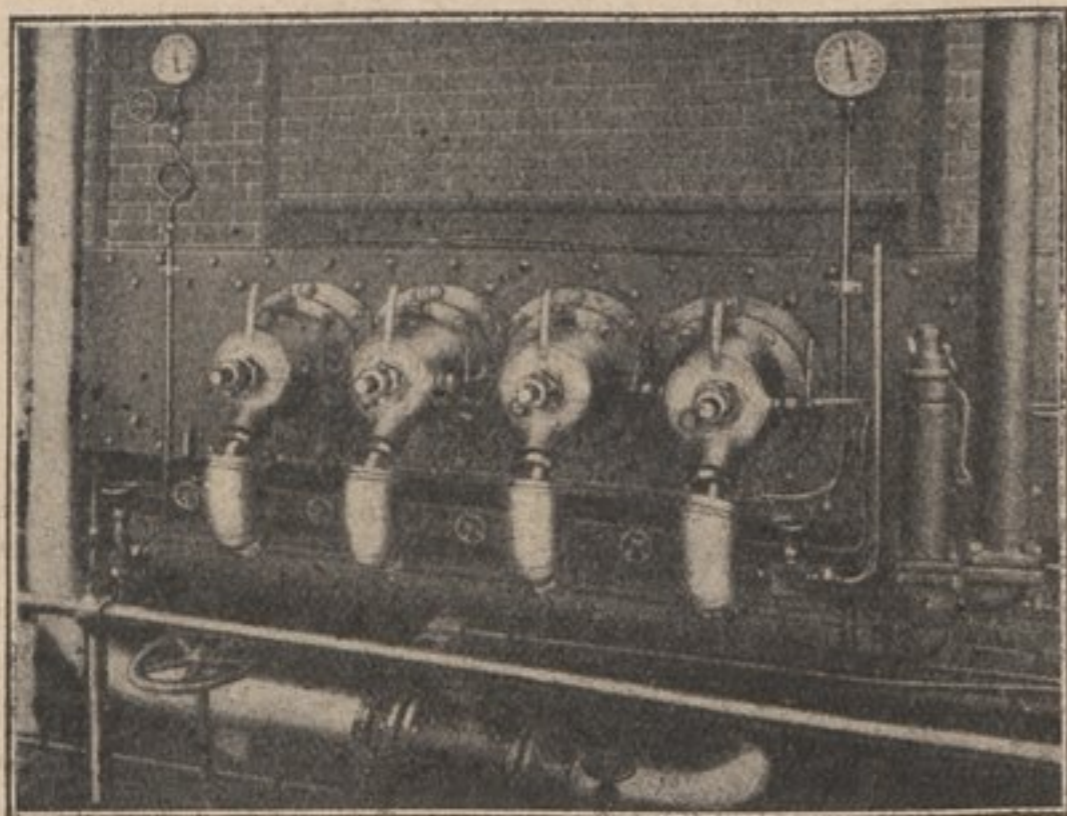


L'eau qui sort du tube L est obligée de revenir en sens inverse dans l'espace annulaire M. Le chapeau C, légèrement plus large que le diamètre intérieur du tube, porte à sa superficie des

ailettes, de façon que l'eau entrant dans le tube N soit déjà animée d'un mouvement de rotation qui la distribue sur toute la périphérie du tube.

La vapeur produite se dégage au centre du tube dans l'espace circulaire et arrive à l'extrémité opposée. La tête correspondante à cette extrémité a sa partie mobile ajustée dans le tube et soudée à lui. Le support à rotule permet la dilatation et la contraction du tube. La vapeur passe par le tube mobile O et en sort par le tube fixe P.

Fig. 6. — CHAUDIÈRE ATMOS. Façade R.



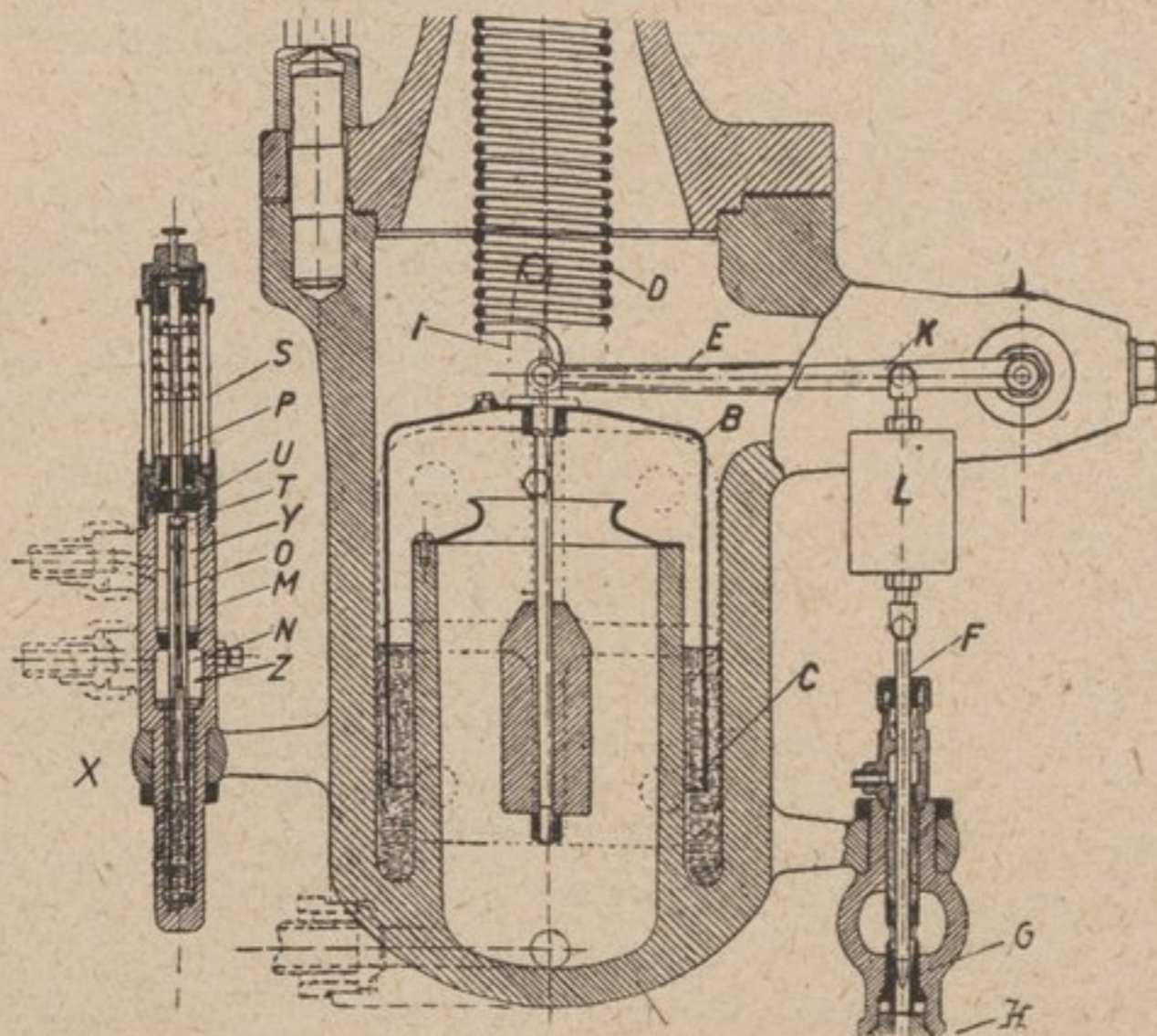
L'alimentation est réglée d'une manière ingénieuse : par le fait de la force centrifuge, la pression dans la zone axiale interne du tube à la tête d'admission est plus faible qu'à la tête de sortie ; cette différence dépend de l'épaisseur de la couche d'eau en contact avec le tube.

Le régulateur d'alimentation, (Fig. 7), fonctionne sur cette différence de pression. Des tubes spéciaux relient la cloche B qui flotte sur du mercure C, aux deux extrémités du tube vaporisateur, de façon que l'une des pressions s'exerce au-dessous de la cloche et l'autre au-dessus.

Dans la cavité du régulateur le dessus et le dessous de la cloche sont pleins d'eau froide. La cloche est soutenue par un ressort D ; elle commande le mécanisme à levier E et la soupape G. Cette soupape est placée à l'extrémité d'un tube H relié au refoulement de la pompe d'alimentation, et qui sert à mettre en communication ce refoulement avec l'aspiration. A chaque position de l'aiguille F correspond donc un débit d'alimentation déterminé de la chaudière.

Au régime normal, l'aiguille a une position stable ; si le débit de vapeur augmente, l'épaisseur de l'eau dans le tube diminue, ainsi que la pression à la tête d'admission. La cloche B s'enfonce, l'aiguille F également ; la qualité d'eau qui passe par le tube H

Fig. 7. — RÉGULATEUR D'ALIMENTATION ATMOS.



diminue et l'alimentation augmente. Le contraire se produit naturellement quand le débit de vapeur diminue.

La pratique a montré que le régulateur fonctionnait tout à fait bien et présentait la plus complète sécurité. L'indicateur de niveau d'eau, représenté dans le cylindre X, fonctionne sur le même principe. Ce cylindre est divisé en deux chambres dont la chambre inférieure Z est partiellement remplie de mercure; elle est en communication avec la tête d'admission des tubes vaporisateurs; la chambre supérieure est en communication avec la tête de sortie de vapeur. Les deux chambres communiquent par le moyen du tube N; le niveau du mercure est vu sur la graduation, au moyen du flotteur O. Ce niveau donne une indication sur l'épaisseur d'eau dans le tube.

L'installation est complétée par un indicateur de dilatation du tube représenté sur la figure 5. L'indicateur est un levier coudé E dont une des branches est fixée à l'extrémité du tube B et dont l'autre branche se déplace devant un cadran gradué. La moindre formation d'incrustation dans l'intérieur du tube, diminuant la transmission de chaleur à l'eau, produit un accroissement de la température du tube et, par suite, un allongement excessif qui est mis en évidence par l'indicateur de dilatation.

La chaudière dont nous venons de parler a été installée en Novembre 1923 à Göteborg; auparavant, on avait, dans la même fabrique, installé une première chaudière qui a commencé à fonctionner à la fin de 1921.

Cette première chaudière avait été construite pour une pression de 50 à 60 kg. Elle était munie de 6 tubes vaporisateurs de 2 m,50 avec un diamètre extérieur de 305 mm et des parois de 10 mm,5 d'épaisseur.

La chaudière de 1923 a été construite pour une pression de 100 kg; elle est munie de quatre tubes vaporisateurs de 3 m,40, avec diamètre extérieur de 305 mm et des parois de 19 mm; la surface de chauffe est d'environ 13 m<sup>2</sup>. La production de vapeur normale est de 4.000 kg à l'heure et la chaudière a été poussée jusqu'à produire 5.200 kg de vapeur à l'heure. Les productions unitaires correspondantes sont donc de 308 kg par m<sup>2</sup>-heure et de 400 kg de vapeur surchauffée à 400°. Les figures 3 et 6 représentent la chaudière de 1923.

La surface de chauffe est de 6 m<sup>2</sup>,04; le surchauffeur est composé de tubes de 23-33 avec une surface de surchauffe de 8 m<sup>2</sup>,45; le réchauffeur est en tubes d'acier de 51 × 67 mm avec une surface de chauffe de 191 m<sup>2</sup>.

Nous donnons ci-dessous quelques résultats d'essais :

Timbre .....	100 kg
Température de l'air .....	13°
— de l'eau d'alimentation .....	14°
— entre les deux réchauffeurs .....	158°
— à l'admission des tubes vaporisateurs .....	310°
— de la vapeur surchauffée .....	391°
— des gaz de combustion à la sortie .....	270°
Proportion de CO <sub>2</sub> dans les chambres latérales .....	13,9 %
— à la base de la cheminée .....	11,8 %
— de CO à la base de la cheminée .....	1 %
Consommation de combustible à l'heure .....	641 kg
soit 100 kg par m <sup>2</sup> -heure de grille.	
Pouvoir calorifique du charbon par kg .....	6.100 calories
Production de vapeur à l'heure .....	3.916 kg
soit 277 kgh par m <sup>2</sup> de surface de chauffe et 6 kg,11 par kg de charbon.	
Total des calories fournies par kg de vapeur .....	731
Vapeur produite par les réchauffeurs par heure .....	320 kg

Le bilan thermique est établi de la façon suivante :

Calories utilisées pour la production de vapeur.....	73,2 %
Pertes des gaz de combustion.....	14,4 %
— par combustion incomplète.....	4 %
— diverses.....	8,4 %

Le service auxiliaire absorbe les puissances suivantes :

Pour le soufflage de l'air sous la grille.....	6,6 kw
Pour le tirage artificiel dans la cheminée.....	7,2 kw
Pour la rotation des tubes.....	3,3 kw
Pour la pompe d'alimentation.....	27 kw
Pour la grille automatique.....	0,4 kw

En améliorant la combustion de façon à augmenter la teneur en  $\text{CO}_2$  et en développant la surface de chauffe du réchauffeur pour abaisser la température de sortie des gaz, on arriverait à un type de chaudière à rendement équivalent à celui des meilleures chaudières existantes.

La Société Atmos procède d'ailleurs à des essais de tubes à ailettes, pour augmenter la production unitaire de vapeur.

Cette chaudière paraît appelée à se développer. La Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, qui a la licence pour la France, a en construction une grosse chaudière à huit tubes vaporisateurs chauffée au charbon pulvérisé et dont la production prévue est de 10.000 kg de vapeur à l'heure, au timbre de 100 à 110 kg. L'inventeur de cette chaudière est l'ingénieur suédois Blomquist.

*Chaudière Benson.* — La conception de cette chaudière est encore plus hardie que celle de la précédente. E. Benson a, en effet, cherché à vaporiser l'eau au voisinage du point critique. Des essais dans ce sens avaient déjà été tentés par le Suédois de Laval de 1890 à 1900, mais ces expériences n'avaient pas abouti parce qu'on ne disposait pas alors de métaux capables de résister aux pressions et températures mises en jeu.

Au point critique, l'eau et la vapeur ont le même volume spécifique et la chaleur de vaporisation est nulle. La transformation de l'eau en vapeur se fait donc sans addition de chaleur et sans augmentation de volume. On supprime ainsi tous les phénomènes d'agitation et de production de bulles gazeuses qui caractérisent l'ébullition.

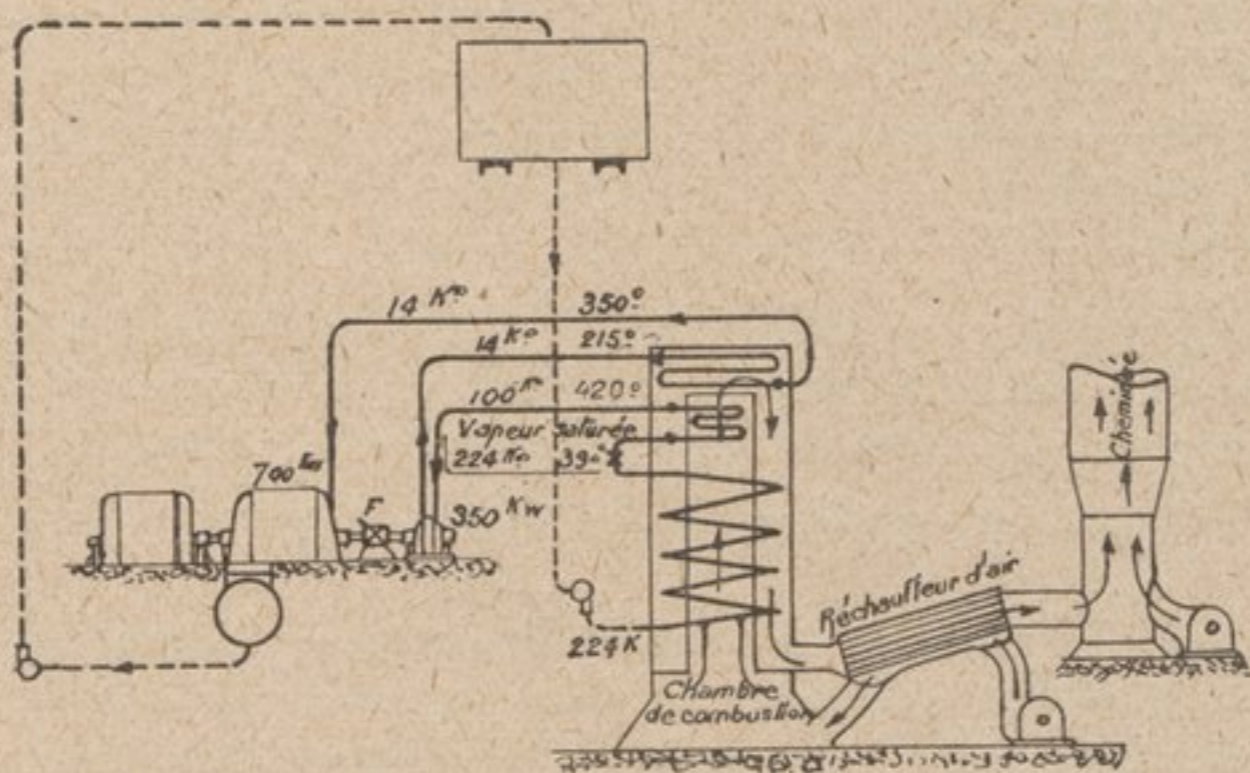
Le phénomène se produit sans aucun trouble et on peut supprimer les gros collecteurs de vapeur, étant donnée la constance du volume spécifique, ce qui enlève toutes les principales causes d'insécurité.

Pour réaliser cette vaporisation au point critique, on envoie dans la chaudière de l'eau à une pression légèrement supérieure à la pression critique et on élève graduellement la température de l'eau dans les tubes de la chaudière. La pression critique est de 224 kg et la température correspondante de 375°.

Dans la chaudière Benson, la vapeur est produite dans ces conditions de température et de pression et on la détend ensuite à 100 kg. Il en résulte une humidification très importante de la vapeur, on la surchauffe donc ensuite. La vapeur détendue à 100 kg a une température de 318° ; on la porte dans le surchauffeur à une température de 420°. Dans cet état le nombre de calories contenues dans un kilogr. de vapeur est de 746. Cette vapeur est envoyée dans une turbine à haute pression où elle se détend de 100 à 14 kg. La vapeur d'échappement est surchauffée à nouveau à 350° et amenée dans une turbine ordinaire à basse pression d'où elle s'échappe au condenseur.

La figure 8 représente le schéma de l'installation de l'usine de Rugby de l'English Electric Company établie pour une puissance de 1000 kw. Le générateur de vapeur est constitué par une sorte de tour verticale à double paroi cylindrique en matière réfractaire. Dans la chambre centrale se poursuit la combustion du combustible liquide projeté par des injecteurs placés à la base de la chambre. Les gaz de la combustion montent dans la chambre centrale et redescendent dans l'inter-

Fig. 8. — CHAUDIÈRE BENSON.



redescendent dans l'inter-

valle annulaire entre les deux parois, ils s'échappent ensuite dans la cheminée. Dans l'espace annulaire se trouvent cinq rangées de tubes en hélice qui constituent les tubes vaporisateurs.

L'eau d'alimentation, qui provient d'une bache reliée au condenseur, est envoyée dans ces tubes, à la partie inférieure par une turbine qui refoule l'eau à une pression légèrement supérieure à 224 kg.

L'eau monte dans les tubes et se trouve graduellement chauffée par les gaz de combustion qui circulent en sens inverse dans l'espace annulaire. Quant l'eau a parcouru environ les neuf dixièmes de la longueur des tubes, elle atteint la température critique et se transforme en vapeur, sans changer de volume et sans ébullition. Dans le dernier dixième du parcours, la vapeur subit une petite surchauffe. A la sortie des tubes vaporisateurs, elle traverse un détendeur qui la réduit à l'état de vapeur saturée à 100 kg et revient au générateur pour parcourir les tubes du surchauffeur.

Ces tubes sont semblables aux tubes vaporisateurs, mais sont seulement d'une section plus grande et placés au-dessus de ceux-ci. A la sortie du surchauffeur, la vapeur a une pression de 100 kg et la température est de 420°. Elle se rend alors à la turbine à haute pression, de dimensions très petites bien que développant une puissance de 350 kw. Bien que les détails de construction de cette turbine aient été gardés secrets, on sait, toutefois, qu'elle se compose d'une seule roue à action de très petit diamètre et qui tourne à 25.000 tours à la minute.

Au cours des essais, on n'a pas cru nécessaire d'installer la turbine à basse pression dont le fonctionnement doit être tout à fait normal. On a donc envoyé directement la vapeur d'échappement de la turbine à haute pression au condenseur. Mais dans une installation complète, cette vapeur à 14 kg devra retourner à un surchauffeur pour en sortir à 350° et alimenter une deuxième turbine de 700 kw à 6.000 tours, accouplée par double réduction de vitesse à la turbine à haute pression.

Pour le condenseur, on prévoit un vide de 35 grammes par  $cm^2$ . La quantité d'eau en cycle fermé nécessaire pour une puissance de 2.000 kw est d'environ 250 kg.

On utilise la chaleur des gaz de combustion à la sortie de la chaudière, pour réchauffer l'air de la combustion.

On n'a pas encore les résultats pratiques complets des premiers mois de fonctionnement. D'après les projets, on compte obtenir un rendement de 60 % pour la turbine à haute pression

et de 70 % pour la turbine à basse pression. Les auxiliaires consommeraient 80 kw. Dans ces conditions, le rendement normal thermique est de 23.5 %, valeur relativement très élevée et qu'on pourrait augmenter en faisant usage des perfectionnements récents : réchauffage, surchauffages intermédiaires, etc.... Les résultats acquis sont déjà très intéressants.

Tout d'abord les appareils ont été soumis à une pression hydraulique de 450 kg et n'ont pas donné lieu à des fuites.

On a mis, ensuite, l'appareil en marche en déchargeant la vapeur qui sort à 100 kg du second réchauffeur dans un condenseur. On est arrivé à produire 3.650 kg de vapeur à l'heure et la température des gaz à la base de la cheminée a été abaissée à 45°, ce qui laisse présager un rendement très élevé de la chaudière.

On n'a pas eu le moindre incident de fuites aux joints ou aux tubes.

D'après les mesures prises, la pression dans le générateur est de 228 kg et la température de 384°. Après le détendeur, la pression est de 100 kg et la température de 327°; après le surchauffeur, elle monte à 400° en moyenne, mais on a observé des températures de 425°.

En comparant ce type de chaudière avec les chaudières normales, on constate que le prix de revient de l'installation est d'environ les 82/100° de l'installation normale. Le poids n'est que les 75/100°. On espère une diminution de consommation du combustible de 28 % et une réduction de consommation de vapeur de 30 % au moins.

Il semble que le danger d'explosion soit considérablement diminué avec ce type de chaudière. La masse d'eau en jeu est très faible et les tubes de très petit diamètre. Dans l'installation de Rugby, ces tubes étaient en acier au carbone, mais on prévoit l'emploi de tubes en acier chrome nickel. Le diamètre intérieur était de 20 mm et le diamètre extérieur de 30 mm,5. Le collecteur a un diamètre intérieur de 76 mm et est relié aux tubes vaporisateurs par soudure autogène. Le tuyau d'admission de la turbine a un diamètre de 35 mm. Des échantillons de ces tubes ont été essayés avec succès à une pression de 350 kg à une température de 550°.

L'installation de Rugby fonctionne déjà depuis plus d'un an.

*Chaudière Löffler.* — La chaudière Löffler présente cette caractéristique très curieuse que la chaudière, c'est-à-dire l'appareil évaporatoire est entièrement soustrait à l'action des flammes.

Cette chaudière a été imaginée par le professeur Löffler de Charlottenburg.

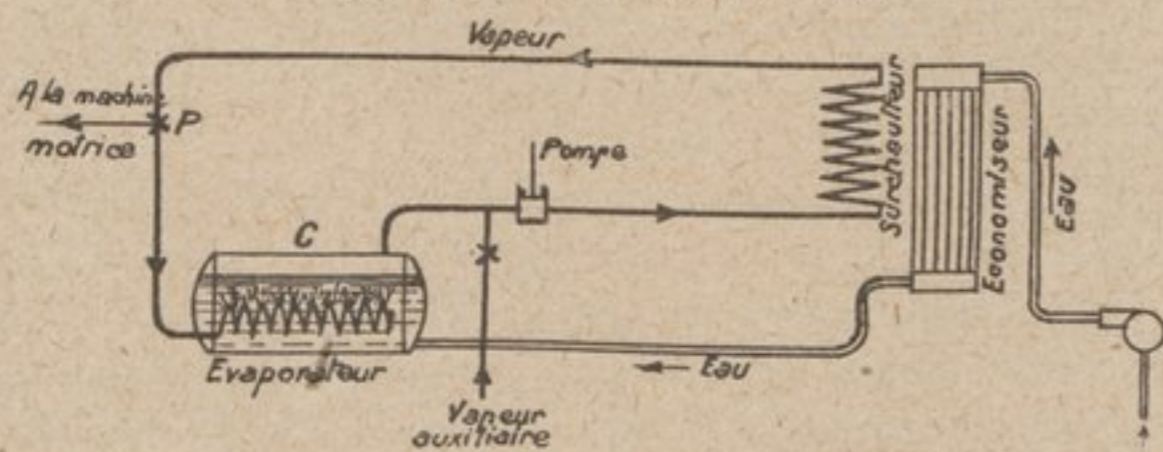
Un appareil d'essais est en construction à Florisdorf aux ateliers de locomotives de Vienne.

Dans ce procédé, la vaporisation de l'eau est produite au moyen de vapeur surchauffée introduite dans le corps cylindrique de la chaudière. Les seules parties qui sont exposées à

l'action des gaz de la combustion sont : le surchauffeur de vapeur et l'économiseur où se produit le réchauffage de l'eau d'alimentation de la chaudière.

Comme on peut le voir par la figure 9, l'eau d'alimentation parcourt d'abord l'économiseur qui est du type normal et est envoyée à la chaudière pro-

Fig. 9. — CHAUDIÈRE LÖFFLER.



prement dite V. C. à une température voisine de celle correspondant à la tension de vapeur saturée à la pression de la chaudière,

La vapeur saturée produite dans la chaudière est aspirée par une pompe à piston qui la comprime à une pression supérieure de quelques kilogr. à la pression de la chaudière. Elle passe



alors dans les éléments du surchauffeur et sa température s'élève considérablement. Elle repasse, ensuite, dans la chaudière V. C., où on la fait barboter dans l'eau pour la condenser; elle produit alors une quantité de vapeur supérieure à son propre poids. Il en résulte qu'on peut dériver de la chaudière un surplus de vapeur qui va alimenter les machines motrices. Cette dérivation est indiquée en P sur la figure 9.

Pour mettre l'appareil en marche, il est indispensable d'avoir une petite chaudière auxiliaire ou d'emprunter de la vapeur à une chaudière voisine. Cette vapeur auxiliaire est introduite dans la tuyauterie avant la pompe, de façon que cette dernière puisse la refouler au surchauffeur; dans ce cas, on ferme la prise de vapeur P jusqu'à ce que la chaudière soit à son régime normal; on ferme alors l'orifice de la vapeur auxiliaire. Ce type de chaudière présente évidemment de grands avantages au point de vue construction et sécurité. L'évaporation se produit dans un large corps cylindrique et au sein de la masse liquide, évitant tous les ennuis qui sont dus à la formation de bulles de vapeur sur les parois; les dangers de l'incrustation disparaissent; elles ne peuvent, en effet, se produire que dans l'économiseur ou dans l'évaporateur C où il est facile de les enlever.

Dans ce dernier cas même, cette incrustation peut constituer un excellent isolant. Avec ce système, on peut atteindre une pression de 100 kg; il est particulièrement adapté aux locomotives.

Le seul point délicat est la pompe. Bien que le travail qu'elle fournit soit peu élevé, puisqu'il s'agit de comprimer la vapeur de quelques kilogr. seulement, pour vaincre la résistance du circuit, elle a affaire à un volume de vapeur considérable. Cette vapeur est à une température élevée, ce qui rend difficile le problème de la construction, de l'isolation et du graissage.

On peut surchauffer la vapeur à 500 ou 600°. En partant de la chaudière froide, on peut être en régime de marche en une heure et demie en supprimant la vapeur auxiliaire après les trois premiers quarts d'heure.

Une petite chaudière expérimentale de 100 kg. a fonctionné pendant plusieurs mois à la pression de 100 kg. sans incident. Elle alimentait un moteur à piston qui avait été modifié en conséquence. L'installation, en montage à Florisdorf, est destinée à la station centrale de l'usine dont la puissance est de 900 kw.

On étudie également une installation de 18.000 kw, avec turbine à vapeur, pour l'usine de Witkowiz. Enfin la fabrique de locomotives de Vienne a en construction une locomotive de 1.500 kw, timbrée à 120 kg.

*Chaudière à vapeur de mercure.* — La Général Électric C<sup>o</sup> a installé dans l'usine d'Hartford une centrale électrique pour réaliser le principe du cycle d'utilisation des deux vapeurs. Cette installation est connue sous le nom d'usine Emmet, du nom de l'ingénieur qui a établi les plans.

Elle comprend une chaudière à vapeur de mercure, alimentant une turbine à vapeur de mercure. Le condenseur de cette turbine constitue une chaudière produisant de la vapeur d'eau qui est ensuite envoyée dans une turbine à vapeur à basse pression.

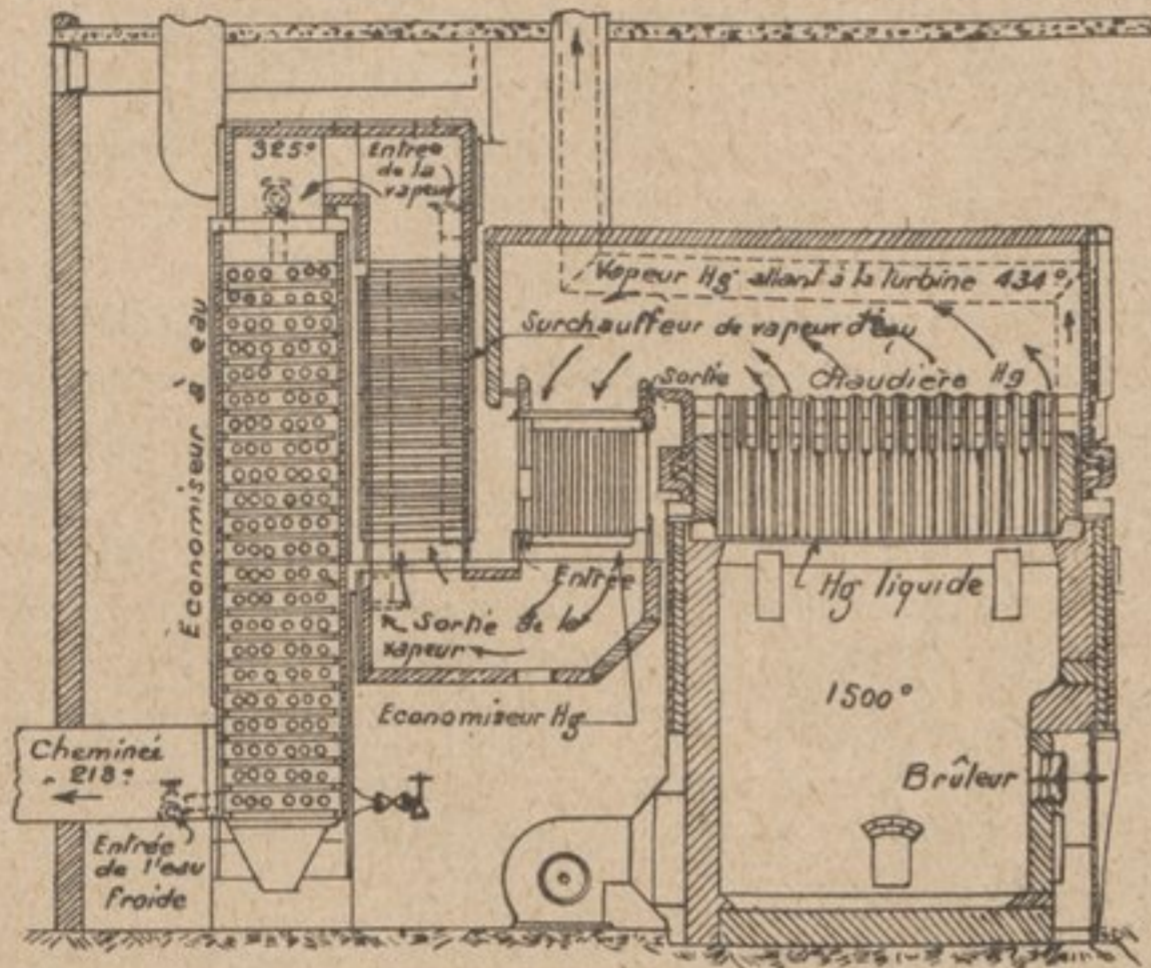
Les études ont été commencées en 1914. On a dû construire une quinzaine de types de chaudières à mercure dans les ateliers de Scheneclady, avant d'arriver à réaliser un type convenable.

Le mercure est vaporisé dans une chaudière à combustible liquide (Fig 10); les gaz de la combustion, après avoir traversé la chaudière, passent successivement dans un économiseur à mercure, dans un surchauffeur de vapeur d'eau, un économiseur à eau, et s'échappent enfin par la cheminée.

La vapeur de mercure, légèrement surchauffée, va se détendre dans la turbine à mercure (Fig. 11) et s'échappe au condenseur, puis retourne à la chaudière en passant par l'économiseur. La chaudière à mercure est du type vertical à corps cylindrique et tubes à fumée; les tubes sont soudés à la plaque tubulaire supérieure et sont libres à leurs extrémités inférieures, de façon à

permettre la dilatation. La plaque tubulaire inférieure n'existe pas; les tubes à fumée se terminent par une partie prismatique et on comble par soudure l'espace entre les tubes. On remplit de mercure l'interstice entre les tubes et, comme les tubes sont très rapprochés, il suffit

Fig. 10. — CHAUDIÈRE EMMET. — Étage inférieur.



d'une très faible quantité de mercure pour remplir la chaudière. On réalise, en même temps, une surface de chauffe considérable.

Toutefois, d'après des renseignements venus directement d'Hartford, cette chaudière a été remplacée par une autre chaudière à tubes de mercure, cette dernière construction permettant l'établissement de chaudières beaucoup plus puissantes.

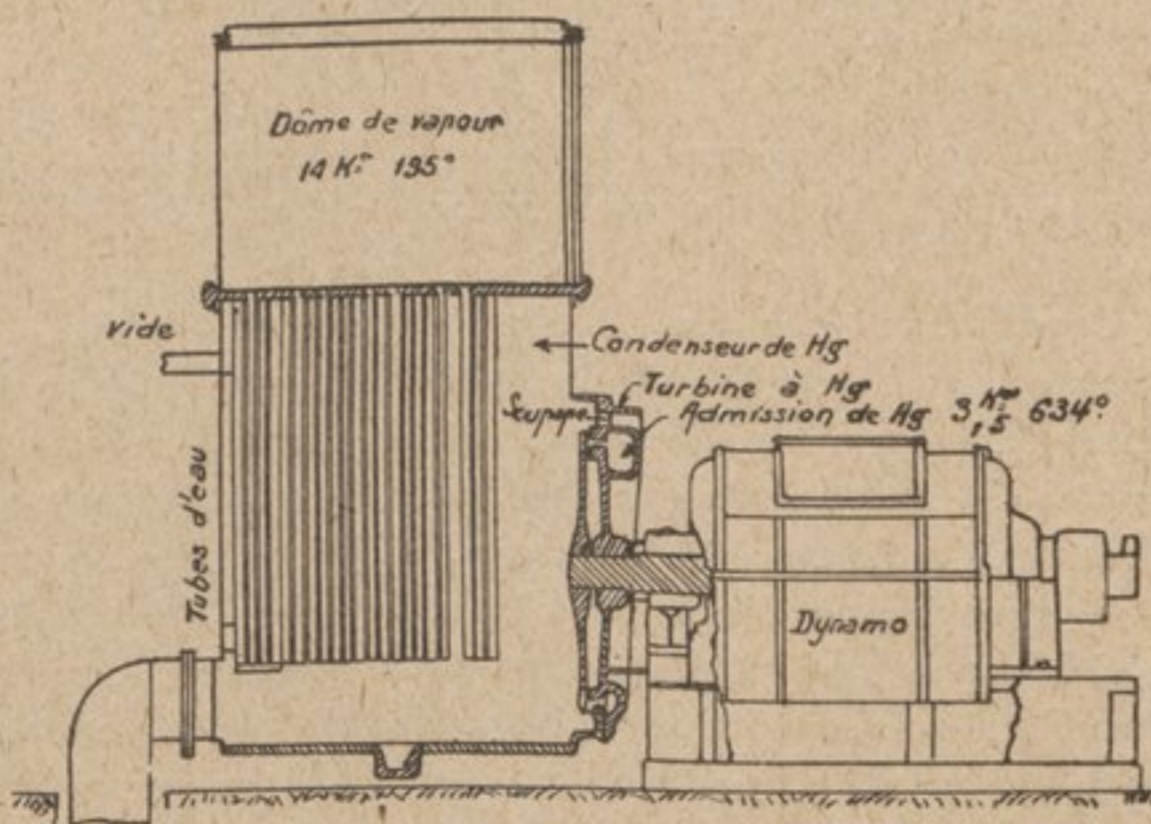
La chaudière est chauffée au combustible liquide qui brûle dans une chambre de combustion dont les parois sont constituées par des briques réfractaires. La température au centre de la chambre atteint 1500°. La vapeur

de mercure, à la première installation d'Hartford, était produite à 3 kg 5 et à la température de 434°. Elle se surchauffait légèrement dans la partie supérieure des tubes où sa température était relevée à 450°.

Les constructeurs estiment que ces limites peuvent être largement dépassées, et ils ont récemment essayé, avec succès, une chaudière à 8 kg, la température correspondante de la vapeur de mercure étant de 500°.

La turbine à mercure est installée à l'étage supérieur au-dessus de la chaudière. Dans la première installation, elle était du type à roue à action à un seul disque. La construction de cette turbine n'est pas sensiblement différente de celle des turbines à vapeur. Les aubes sont construites en acier spécial pouvant résister à l'action du mercure, et les presse-étoupes sont maintenus sous pression de gaz d'éclairage; quand la turbine est arrêtée, ce gaz pénètre dans l'intérieur de la turbine, remplit l'intérieur, le condenseur et la chaudière, empêchant ainsi toute infiltration d'air qui pourrait provoquer des phénomènes d'oxydation nuisibles.

Fig. 11. — CHAUDIÈRE EMMET. — Étage supérieur.



Le condenseur à mercure est également placé à l'étage supérieur, de façon que le mercure retourne à la chaudière, sans pompe d'alimentation. La vapeur sortant de la turbine débouche directement dans le condenseur et se condense sur un faisceau de tubes parcourus par un courant d'eau.

Le mercure condensé se ramasse dans une bêche, et sa surface supérieure est constamment nettoyée automatiquement pour enlever toutes les scories ou l'oxyde produit. Le condenseur est directement attaché à la turbine au moyen de boulons et le joint est ensuite soudé.

L'eau qui passe dans les tubes du condenseur se vaporise, et la vapeur se rassemble dans un dôme d'où elle passe ensuite dans un réchauffeur placé à l'étage au-dessous à la suite de la chaudière. La vapeur produite à la pression de 14 kg est surchauffée d'environ 50°.

La turbine à vapeur ne présente aucune particularité. La figure 10 représente l'étage inférieur de l'installation. On y voit la chaudière à mercure, l'économiseur à mercure, le surchauffeur et l'économiseur à eau. La figure 11 représente l'étage supérieur avec la turbine et le condenseur.

Dans la première installation d'Hartford, le poids de mercure en circulation était environ 1.350 kg à l'heure; le mercure faisait donc un cycle complet huit fois par heure. Dans ces conditions, la turbine à mercure développait environ 1900 kw. La condensation du mercure pouvait produire 12.700 kg de vapeur d'eau à 14 kg surchauffée de 50°.

En fait, on n'a pas poussé l'installation aussi loin et la turbine a fonctionné pendant longtemps à la puissance de 1500 kw. Dans la première année de fonctionnement, l'usine a fourni 6.000.000 de kw et la puissance maximum atteignait 2.500 kw avec la turbine à vapeur.

Le personnel employé ne comprenait aucun spécialiste et le fonctionnement de la chaudière était parfait. A côté du groupe à vapeur de mercure, fonctionnait un groupe à vapeur d'eau à 14 kg construit il y a quelques années et qui, par conséquent, ne représentait pas le type le plus économique actuel. Néanmoins, sa consommation de vapeur était normale, mais on a constaté que la consommation du type à vapeur de mercure était sensiblement moitié par kw de la consommation du groupe à vapeur.

Comme nous l'avons dit plus haut, on procède à une nouvelle installation de chaudière à tubes de mercure et turbine à trois disques. On espère développer 4.000 kw.

Ce dispositif présente le grand avantage qu'on peut l'ajouter à une station centrale sans changer les machines existantes. Il suffit de remplacer une des chaudières à vapeur d'eau par une chaudière à vapeur de mercure.

La surface occupée par la chaudière et le groupe actuel correspond, en effet, à celle occupée par une chaudière de 600 m<sup>2</sup> de surface de chauffe.

*Chaudière du type normal à tubes d'eau à haute pression.* — Nous venons de voir des solutions très spéciales du problème de la chaudière à haute pression. Les constructeurs de la chaudière type normal se sont également efforcés de relever la pression en modifiant plus ou moins les éléments. On est arrêté assez vite dans cette voie par le prix de l'installation. C'est ainsi que les chaudières de 30 kg coûtent environ 50 % de plus que les chaudières à 10 kg. Les chaudières à 100 kg coûtent le double; il y a, de plus, des difficultés techniques évidentes. Au-dessus de 40 à 50 kg, on ne peut plus compter sur les rivures; le corps cylindrique est, en fait, fait d'une seule pièce sans soudure avec les fonds d'où la nécessité d'un outillage très coûteux. Seules, pour le moment, la Société Krupp et quelques usines américaines sont capables de produire ces corps cylindriques d'une seule pièce. On s'efforce également d'empêcher le contact des flammes avec le corps cylindrique en garnissant la partie inférieure de briques réfractaires.

C'est sur ce principe que l'ingénieur Schmidt, l'inventeur du surchauffeur de locomotives, a construit, en 1910, une chaudière expérimentale à tubes d'eau verticaux, timbrée à 60 kg. Elle

avait environ  $80 m^2$  de surface de chauffe et produisait  $800 kg$  de vapeur à l'heure, à  $450^\circ$ . Elle a fonctionné plusieurs années sans inconvénient.

En la munissant d'une grille de  $1 m^2,65$  et du tirage forcé, on put atteindre une production de  $1.000 kg$  de vapeur à l'heure. Actuellement les usines Borsig de Berlin construisent des chaudières de ce type, timbrées à  $50 kg$  et produisant jusqu'à  $8.000 kg$  de vapeur à l'heure. La maison Babcock Wilcox est également entrée dans cette voie. Elle a fourni récemment, à la centrale de Calumet, de la Commonwealth Edison C<sup>o</sup> de Chicago, des chaudières du type normal Babcock timbrées à  $85 kg$ .

Les tubes sont divisés en deux groupes :

Le groupe inférieur a 8 rangs de tubes de  $50 mm$  ; le groupe supérieur, 17 rangs de tubes également de  $50 mm$ . Entre les deux groupes sont placés un surchauffeur primaire et un surchauffeur secondaire. Le premier surchauffeur reçoit dans 3 rangs des 72 tubes en Y la vapeur saturée produite dans la chaudière, et élève sa température à  $400^\circ$ . Le surchauffeur secondaire, qui est composé de 4 rangs de 72 tubes en V, surchauffe à  $400^\circ$  la vapeur sortant de la turbine à haute pression à une pression de  $21 kg$ .

Le corps cylindrique, placé au-dessus des tubes et qui sert de collecteur d'eau et de vapeur, a une longueur d'environ  $10 m$  ; il a un diamètre d'environ  $1.250 mm$  et des parois de  $100 mm$  d'épaisseur. Il est construit en acier forgé en une seule pièce et il est muni de trous d'hommes de  $250 \times 320 mm$  à ses deux extrémités. La surface de chauffe est de  $1.750 m^2$  ; le surchauffeur primaire a une surface de surchauffe de  $230 m^2$  et le surchauffeur secondaire une surface de surchauffe de  $355 m^2$ . La chaudière est munie d'un économiseur de  $1.000 m^2$  de surface de chauffe. L'espace occupé par la chaudière et l'économiseur est un parallélépipède d'une section de  $8 m,50 \times 11$  et  $14 m$  de hauteur. Les corps cylindriques ont été exécutés par la Midvale C<sup>o</sup> de Philadelphie et constituent une des plus belles pièces de forge qu'on ait jamais vues ; ils ont été tirés de lingots octogonaux de  $1.980 mm$  de diamètre pesant  $120 t$ . Ces lingots ont été aplatis de façon à obtenir un diamètre de  $2.450 mm$  ; ils ont été forés ensuite avec un poinçon de  $490 mm$ , puis forgés sur mandrin de façon que le trou central ait un diamètre de  $1450 mm$ . On a ensuite étiré sur mandrin pour obtenir un diamètre intérieur de  $1150 mm$  et extérieur de  $1.500 mm$ . On a continué ensuite le forgeage, de façon à donner la section définitive, en refoulant les extrémités pour former des fonds et en réservant les trous d'hommes. Après tout ce travail, on a recuit le corps cylindrique.

La réalisation du type normal de chaudière à pressions plus basses est naturellement plus facile. Nous citerons une chaudière Sterling à  $28 kg$  et  $3.300 m^2$  de surface de chauffe fournie à la centrale de Trenton Channel. Les quatre corps cylindriques de cette chaudière ont  $50 mm$  d'épaisseur et sont en acier doux. La Maison Babcock Wilcox a également construit des chaudières de  $1.600 m^2$  de surface de chauffe, timbrées à  $42 kg$ .