

CHRONIQUE

Les chaudières à vapeur aux Etats-Unis

Compte-rendu de mission du Dr-Ing. F. Munzinger,
résumé dans la revue *Gluckauf* (n° 39 du 26-9 1925).

*Traduction par HECTOR ANCIAUX, Secrétaire de la Commission
consultative permanente pour les appareils à vapeur, à Bruxelles.*

L'auteur bien connu de l'ouvrage « Grosses chaudières américaines et allemandes », le Dr-Ing. Friedrich Munzinger, de Berlin, a entrepris, au début de 1925, un voyage aux Etats-Unis d'Amérique, à la demande de l'Association des ingénieurs allemands et de l>Allgemein Electricität's Gesellschaft, afin de se rendre compte de visu de l'état actuel de la production et de l'utilisation de la vapeur dans ce pays. Il a fait part de ses impressions et constatations dans une communication à l'Association des ingénieurs allemands, à l'occasion d'une assemblée générale tenue à Augsburg le 10 mai 1925. Cette communication contient des données et des suggestions si nombreuses et si utiles, pour l'industrie minière notamment, que la reproduction de l'essentiel de son contenu paraît très opportune.

Les constructeurs.

Peu de firmes s'occupent de la construction des chaudières à vapeur aux Etats-Unis. Cinq grands constructeurs seulement sont à signaler à côté de Babcock et Wilcox, ces derniers fournissant 50 p. c. du nombre total des chaudières. Ces firmes rendent également service par leurs recherches scientifiques. Il n'y a pas d'entente entre elles pour régler les prix ou la vente, une telle entente étant interdite par la loi. Les prix élevés, demandés par les premières firmes, sont néanmoins admis par les acheteurs qui ont confiance dans la valeur des produits fournis.

La construction.

Alors que précédemment il existait des prescriptions différentes pour la construction des chaudières dans les 48 états de la Fédération américaine, un nouveau code de prescriptions et règles vient d'être publié par l'American Society of Mechanical Engineers; ce code sera probablement rendu valable dans un temps rapproché dans tous les Etats-Unis.

Dans la fabrication des corps de chaudières, on met en œuvre des pressions presque doubles de celles admises en Allemagne. Les expériences de Bach et de Baumann concernant la limite admissible pour la pression de rivetage, expériences qui sont devenues la propriété commune des constructeurs et agents de surveillance allemands, sont à peu près inconnues, de même que les procédés de rivetage employés en Allemagne, le procédé Schuch (Stiftnietung) (1) par exemple. Les trous de rivets sont encore souvent poinçonnés et ensuite alésés par forage ou fraisage. On fait également à l'emporte-pièce les trous pour tubes ou bouchons dans les caisses à eau. Le tournage des fonds et de leurs sièges dans les viroles n'est effectué que par un petit nombre de firmes. La plupart des constructeurs matent les coutures intérieurement et extérieurement, mais l'un des plus importants ne le fait que du côté intérieur, afin d'empêcher les eaux alcalines de s'introduire entre les tôles. Le matage des rivures longitudinales et transversales, des fonds et des têtes de rivets est exécuté d'une manière qui laisse fréquemment à désirer. Les fonds présentent dans les congés un rayon de courbure qui est le plus souvent très petit. Nulle part on ne recuit les viroles après forage des trous. La fabrication de corps soudés paraît aussi peu connue.

Les caisses à eau sont généralement rivées. Le réservoir supérieur des chaudières à tubes d'eau n'a, la plupart du temps, que 1.200 millimètres environ de diamètre.

Dans la chaudière Edge-Moor, les ouvertures pour tampons pratiquées vis-à-vis des tubes dans les caisses à eau ont les bords emboutis afin de donner de la rigidité à la tôle. Les trous sont ovales, afin que chaque tampon puisse être aisément retiré.

Les chaudières à caisses à eau de construction ordinaire ont

(1) Procédé qui consiste à façonner en même temps les deux têtes du rivet, après que le corps de celui-ci a été introduit dans son logement.

encore souvent, même dans le cas de grilles à chaîne ou de foyers « underfeed », des conduits de fumée horizontaux, parce que les parois de séparation sont plus faciles à établir et à entretenir dans ce cas. Les entretoises creuses des caisses à eau facilitent le soufflage de ces conduits.

La chaudière à caisses à eau divisées domine parmi les chaudières à tubes obliques, par suite de la prépondérance de la firme Babcock et Wilcox, notamment pour la marine de guerre; cependant, des établissements modernes, comme la centrale de Lakeside, à Milwaukee, possèdent aussi des chaudières à caisses à eau non divisées dont la surface de chauffe atteint 1.650 mètres carrés. Les grandes centrales électriques de l'Est préfèrent toutefois le premier de ces types. Des firmes renommées autres que Babcock en ont d'ailleurs entrepris la construction. Plusieurs raisons les y ont décidées: la difficulté, sinon l'impossibilité d'arriver à de très grandes surfaces de chauffe dans le cas des grandes caisses à eau, les difficultés de manutention et de transport de celles-ci et, d'autre part, les avantages des caisses partielles pour la construction. Les chaudières des deux types possèdent un réservoir transversal supérieur comme la chaudière Babcock à forte production. L'élan donné à la construction de chaudières ainsi disposées provient surtout de la normalisation des chaudières pour les navires du type standard pendant la guerre. Les chaudières de ces navires avaient des caisses à eau rivées et un réservoir transversal supérieur; la caisse à eau d'avant était reliée à ce réservoir par un cuissard, celle d'arrière par des tubes. Plus tard, la première fut également reliée au réservoir par des tubes. La position transversale du réservoir facilitait le raccord avec le cuissard, raccord qui devait normalement être effectué chez le constructeur.

Les chaudières à caisses à eau sectionnelles peuvent être fabriquées facilement dans les plus grandes dimensions. Elles possèdent une grande élasticité; leur construction est moins coûteuse que celle des chaudières à grandes caisses; elles conviennent mieux pour l'exportation. Les caisses partielles sont fabriquées en acier coulé par certaines firmes ou, pour de très fortes pressions, en acier électrique. Les caisses en acier coulé sont soigneusement recuites. Elles présentent des renforts sur leur face interne entre les orifices pour tampons. Cette disposition est nécessaire, parce que chaque couvercle carré correspond à quatre tubes et que la paroi anté-

rieure se trouve ainsi affaiblie par la présence de grandes découpures.

Presque toutes les firmes importantes construisent, outre des chaudières à tubes inclinés, des chaudières à tubes verticaux, dont l'usage prend de l'extension; ces dernières paraissent préférées dans l'Ouest. Les grandes chaudières à tubes verticaux sont souvent doubles, surtout lorsqu'elles sont chauffées au charbon pulvérisé.

En regard des installations allemandes, les énormes chaudières des centrales américaines surprennent par leurs dimensions. Des surfaces de chauffe de 1.000 à 2.000 mètres carrés sont d'emploi général dans les installations récentes; une surface de chauffe de 2.500 mètres carrés ne provoque aucun étonnement. Les plus grandes chaudières du monde sont celles de la centrale de chauffage Cecil, à Pittsburgh. Ce sont des chaudières Babcock et Wilcox de 3.040 mètres carrés de surface de chauffe, timbrées à 13,4 atmosphères; elles comportent 51 caissons à eau et 20 rangées superposées de tubes; les foyers sont à charbon pulvérisé; elles ne possèdent pas de surchauffeur. Les corps supérieurs ont 10.300 millimètres de longueur et 1.500 millimètres de diamètre; ils sont rivés et pourvus de couvre-joints circulaires.

La dimension préférée pour les grandes centrales électriques correspond à une surface de chauffe de 1.400 à 1.800 mètres carrés. Les avantages de ces grandes unités sont l'économie dans le service, le coût moindre de l'installation et des bâtiments, la facilité de la surveillance, l'évacuation plus simple et plus économique des cendres, la possibilité de munir ces chaudières plus facilement et à moindres frais d'appareils de contrôle, et de les équiper à l'aide de foyers automatiques plus simples, plus sûrs et moins coûteux.

De telles surfaces de chauffe ne sont possibles, pour des chaudières à tubes inclinés et avec une largeur modérée de la chambre de combustion, que moyennant la superposition de nombreuses rangées de tubes longs d'au moins 6 mètres. Cette longueur est donnée aux tubes exposés sur toute leur étendue à l'action du feu; s'ils n'y sont pas exposés entièrement, la longueur peut atteindre 7^m,50. Le diamètre des tubes est de 4" dans les chaudières à faisceau incliné et de 3 ou 3 1/2" dans les chaudières à faisceau vertical.

La crainte que la rupture d'une telle chaudière puisse être causée par des avaries minimes n'existe pas en Amérique. On

redoute également peu le risque d'une brusque explosion, pourvu que l'eau d'alimentation soit soigneusement épurée, ce qui est le cas général. Dans une usine utilisant pour la condensation une eau boueuse, le mélange sortant du condensateur était examiné toutes les demi-heures. Dans les grandes centrales, on estime que la préparation de l'eau constitue une opération d'une utilité évidente. Les chaudières modernes à haut rendement sont considérées comme des machines de grande valeur qui ne peuvent fonctionner d'une manière satisfaisante que si la conduite de l'exploitation répond à des exigences sévères.

Réception et surveillance.

La surveillance des chaudières aux Etats-Unis est confiée presque exclusivement à des sociétés d'assurance qui assurent et surveillent également les machines à vapeur, turbines, machines électriques, etc. La durée de l'assurance est généralement de 3 ans. Le montant de la prime s'établit suivant la surface de la grille; il y a quatre catégories limitées par les nombres de mètres carrés 7, 14 et 19; le type de chaudière n'entre pas en ligne de compte.

Les agents de surveillance effectuent trois visites par an, deux pour la vérification extérieure, la troisième, après avis préalable, pour l'examen intérieur. S'ils ont un motif sérieux, ils peuvent dénoncer l'assurance avec effet immédiat. Ces agents doivent recevoir une autorisation de l'Etat pour exercer leur office, mais sont néanmoins des employés privés. Les résultats des visites sont communiqués à l'autorité gouvernementale chargée de la surveillance, et dans ce cas cette autorité s'abstient d'exercer de son côté un contrôle. Les compagnies d'assurance attachent une grande importance à la bonne entente de leurs agents avec leurs clients et s'efforcent de montrer, par le soin qu'elles apportent dans le service de surveillance, que leur activité n'est pas exercée uniquement en vue du gain.

Une partie importante du rôle des compagnies d'assurance consiste dans la surveillance de la construction des chaudières, surveillance qu'elles exercent moins pour en retirer un profit immédiat que pour rester en contact avec les constructeurs et les acheteurs. Une des compagnies occupe à ce seul service 50 agents. Pratiquement, toute chaudière est surveillée lors de sa fabrication. La compagnie peut refuser l'assurance d'une chaudière si celle-ci

lui paraît défectueuse pour une raison quelconque. Les frais de la surveillance pendant la fabrication sont supportés par les constructeurs.

Lors de l'examen des tôles destinées à la construction des chaudières, on attache une grande importance à ce que les proportions d'impuretés ne dépassent pas les limites fixées par le « Boiler Code ».

Hautes pressions et surchauffe intermédiaire.

Il semble qu'on soit allé plus loin en Allemagne qu'en Amérique dans l'emploi des hautes pressions et surchauffes. Aux Etats-Unis, on peut considérer comme normes actuelles une pression de 25 à 28 atmosphères et une température de vapeur de 380°.

Le supplément de prix des installations ayant ces caractéristiques, par rapport à des installations fonctionnant à 15 ou 20 atmosphères, est peu important.

Les opinions sont partagées au sujet de l'opportunité de recourir à des pressions de 30 à 45 atmosphères. Les uns sont partisans d'un timbre de 35 à 40, parce que dans ces conditions on peut encore se passer de la surchauffe intermédiaire qui complique notablement l'installation et la rend plus coûteuse. Les autres ne veulent pas renoncer à cette surchauffe et cherchent à la simplifier en établissant, pour chaque groupe de 3 ou 4 chaudières, une chaudière spéciale à faible surface de chauffe, chaudière dont fait partie le surchauffeur intermédiaire. Ils se passent de réserve et prévoient le fonctionnement éventuel sans surchauffe pendant un certain temps. Ils attachent peu d'importance à une application économique de la surchauffe intermédiaire aux machines à condensation.

Chauffage au charbon pulvérisé.

La surface de chauffe totale des chaudières sous lesquelles on brûle le combustible pulvérisé en Amérique, est de 160.000 mètres carrés. Ce système est employé exclusivement par de grandes centrales électriques et on ne crée plus aucun établissement de ce genre sans examiner soigneusement s'il y a lieu d'appliquer le chauffage au pulvérisé. Cependant, il ne paraît pas probable que les grilles mécaniques soient abandonnées avant longtemps. En Amérique, on estime que l'emploi du pulvérisé est indiqué spécia-

lement dans les cas suivants : 1° pour des charbons qui ne peuvent être brûlés ou qui brûlent mal sur grilles; 2° pour des usines qui reçoivent des combustibles de qualité variable; 3° pour des installations ayant un facteur de charge élevé.

Les chambres de combustion pour le charbon pulvérisé ont une capacité double des foyers à grilles mécaniques, afin qu'une bonne combustion soit obtenue et que les maçonneries réfractaires aient une longue durée. Un grain de charbon de grosseur usuelle demande de 1 à 2 secondes pour sa combustion complète. La chambre doit donc être assez grande pour qu'un temps au moins égal à cette durée s'écoule entre la sortie du grain hors du brûleur et l'entrée en contact des gaz brûlés avec la surface de chauffe. La flamme est dirigée de manière à ne pas entrer en contact avec la maçonnerie. On tend à réduire la durée de combustion en produisant un violent tourbillonnement de la flamme.

On cherche à simplifier la préparation du combustible en installant des broyeurs individuels avec ventilateur accolé et en se passant autant que possible de sécheurs.

Les dispositifs Lopulco et Fuller sont ceux qui se répandent le plus. Les broyeurs à marche lente ne sont pas employés. Le broyeur Raymond, de la firme Lopulco, sépare le fin par courant d'air, le broyeur Fuller par courant d'air ou bien au moyen de tamis. La production maximum d'un appareil Raymond est actuellement de 15 tonnes à l'heure, mais Fuller veut arriver à produire 25 tonnes. Il y a lieu de signaler un dispositif d'alimentation automatique du broyeur Raymond : cette alimentation est réglée par une membrane qui subit les variations de pression qui se manifestent à l'intérieur de l'appareil; l'accroissement de rendement que procure ce dispositif serait de 15 p. c.

Quelques installations anciennes possèdent encore des sécheurs à charbon rotatifs chauffés par les gaz perdus; les nouvelles installations comportent des sécheurs verticaux fixes à lamelles, intercalés entre l'accumulateur de charbon brut et le broyeur, et chauffés par les gaz perdus ou plus rarement par de la vapeur d'échappement. Les sécheurs verticaux demandent peu de place, mais donnent souvent des résultats défectueux. L'effet de séchage des broyeurs est souvent plus grand que celui des sécheurs eux-mêmes. Quelques usines n'ont pas du tout de sécheur, parce qu'elles reçoivent de leurs propres mines du charbon tenant moins de

2 p. c. d'eau. D'autres n'utilisent les sècheurs qu'à certains moments. Partout, on est d'avis que ce n'est pas l'humidité totale du charbon qui importe, mais seulement l'humidité superficielle, et qu'on ne doit sécher que dans la mesure nécessaire pour éviter tout accroissement dans le transport pneumatique et pour que le charbon sorte convenablement divisé des brûleurs. Dans les usines où on ne sèche que modérément ou pas du tout, les chambres où passent les conduites d'air chargé de charbon pulvérisé doivent être chauffées de manière que la température des parois de ces conduites soit légèrement supérieure à la température de leur contenu. Les trémies à charbon pulvérisé peuvent être utilement pourvues d'un calorifuge.

Le rendement des broyeurs dépend notablement de la dureté et de la teneur en eau du charbon. Il diminue considérablement, tandis que la consommation de force motrice augmente, quand l'humidité devient plus grande. La puissance consommée est aussi influencée par le volume de l'air utilisé pour séparer le fin. Cette puissance, dans le cas de la séparation à l'air, va de 12 à 20 kwh. par tonne.

Si on tient compte en outre des installations de transport, on trouve que l'énergie absorbée par la préparation du combustible est évidemment plus élevée et atteint à Cahokia 32 kwh. par tonne et à Lakeside 24 kwh. par tonne (28 et 18 respectivement, suivant des informations plus récentes). Le nombre d'heures de fonctionnement est à Lakeside de 0,35 (0,22 suivant des informations plus récentes) par tonne de pulvérisé.

Par 5 essais effectués à Springdale avec des rouleaux broyeurs déjà usés, on a déterminé les valeurs limites ci-après pour la puissance demandée par le broyage :

Teneur en eau des charbons, %	2,80 — 4,72
Production par broyeur	5,04 — 7,01
Consommation d'énergie par tonne broyée :	
Broyeur : kwh.	16,3 — 17,0
Ventilateur du broyeur : kwh.	7,2 — 8,1
Total	23,5 — 25,1

Les charbons contenaient 13 p. c. d'une cendre dure et siliceuse. D'après cela, des broyeurs Raymond pourraient traiter des char-

bons allemands en n'usant que 15 à 20 kwh. par tonne. Une usine indique comme frais de réparation des broyeurs Raymond 21 pf. par tonne, une autre 42 pf. par tonne. La remise en état complète d'un broyeur Raymond dure, avec trois ouvriers, 4 à 5 jours dans une usine, une semaine dans une autre. Cette dernière utilise le broyeur 20 heures par jour et le graisse à fond toutes les 36 heures, ce qui demande une heure. Beaucoup se plaignent de la consommation élevée en lubrifiants. Voici la durée des pièces les plus importantes, exprimée en tonnes de charbon pulvérisé, pour quatre usines différentes :

	1	2	3	4
Anneau extérieur	19.500	60.000	30.000	22.000
Meule.	29.300	4.000	30.000	22.000
Palette rejetant le charbon	—	17.000	—	22.000
Pointe de palette	8.000-12.000	1.400	—	—
Roue à ailettes du ventilateur	12.500	3.100	—	5.000

La durée dépend fortement de la nature du charbon.

Quelques usines évaluent le prix de revient total par tonne de charbon brûlé à la même valeur dans le cas de foyers à grille et dans le cas de foyers à charbon pulvérisé.

Les frais d'entretien d'une chaudière à foyer à grille « underfeed » et d'une chaudière de même grandeur chauffée au pulvérisé se décomposent comme suit :

	Underfeed Cents par tonne	Pulvérisé Cents par tonne
Grille ou brûleurs, etc.	4,44	5,39
Chambre de combustion et maçonneries	5,29	2,19
Tirage soufflé	0,70	2,01
Soufflage des suies	0,05	1,14
Soupapes d'alimentation.	0,09	0,35
Soupapes et tuyauteries	0,65	0,52
Chaudière.	5,29	3,96
Total	16,51	15,56
Tonnage brûlé en kgs	36.500	28.600

Ces mêmes chaudières ont donné, en 8 mois de service, les résultats ci-après :

	Underfeed	Pulvérisé
Durée de fourniture de vapeur : heures	3.930	4.612
Durée de fonctionnement ralenti : heures	649	216
Durée totale de marche : heures	4.579	4.812
Durée des réparations : heures	1.277	1.028
Production moyenne de vapeur en kgr.		
par mètre carré et par heure	40,5	48,5
Teneur moyenne en CO ² , %	12,1	13,5
Rendement moyen %	73,3	78,6

Les difficultés occasionnées par la maçonnerie réfractaire semblent vaincues à l'heure actuelle. Dans une usine, cette maçonnerie n'a pas dû subir de réparation essentielle depuis 1920; dans une autre, cependant, à cause de la nature de la scorie (18,5 p. c. de fer, fusion à 1100°), les parois réfractaires ne durent pas plus de 3.600 heures. — Cette durée est également faible avec les grilles mécaniques dans bon nombre de cas; dans telle usine, on doit renouveler les parois et les voûtes après 4 ou 5 mois.

Les grandes chaudières chauffées au pulvérisé font excellente impression. Leur régularité de fonctionnement est étonnante. La production de vapeur sous l'action du rayonnement des parois après arrêt de la combustion est remarquablement faible. Elle tombe, par exemple, en deux minutes, de 68.000 à 14.000 kgr. par heure et, en une minute, de 40 p. c. environ de la production normale. Après une période de 5 heures durant laquelle on a simplement maintenu la pression de marche, la production a pu remonter en 4 minutes à 50 kgr. par mètre carré et par heure. Les maçonneries des chaudières à grilles mécaniques ne pourraient pas résister à une montée aussi rapide de la combustion. Les doubles parois des installations récentes au charbon pulvérisé, dont la partie interne n'a que 200 millimètres d'épaisseur et peut se déplacer indépendamment de la partie externe, font ici preuve d'une capacité d'adaptation qu'on ne croyait pas possible.

Dans les foyers des grandes chaudières, le charbon pulvérisé s'allume encore sans difficulté après une pause de 1 à 3 heures, pourvu qu'il ne pénètre pas d'air froid dans la chambre de com-

bustion et que le registre sur la sortie des gaz brûlés soit bien fermé.

Les installations de préparation des charbons, qu'on plaçait autrefois dans des bâtiments spéciaux, sont maintenant établies le long de la salle des chaudières et n'en sont séparées que par une cloison légère, si séparation il y a.

Grilles automatiques.

A Calumet, les grilles à chaîne ont $72 \times 5,4 = 39$ mètres carrés de surface. Les grilles Coxe atteignent jusqu'à 45 mètres carrés. Les grilles simples à alimentation inférieure se construisent sous des dimensions presque aussi fortes. Quant aux grilles doubles à alimentation inférieure, on y renonce. Dans le cas des grandes surfaces de grille, il semble que le maintien d'une teneur convenable en acide carbonique soit difficile, à cause de l'imperfection du mélange de l'air et des gaz. On s'efforce d'améliorer ce mélange par une disposition de voûtes appropriée, par exemple en rapprochant la voûte d'allumage et la voûte à scories et en soufflant de l'air supplémentaire à l'endroit le plus rétréci. De tels dispositifs contrarient cependant d'autres facteurs importants, notamment l'utilisation de la chaleur rayonnante.

Réchauffeurs d'eau utilisant la chaleur des fumées.

Les réchauffeurs en fonte ordinaires ne se rencontrent plus que dans les grandes centrales anciennes. Actuellement, on n'utilise plus que des réchauffeurs en acier forgeable. Ceux-ci consistent en tubes lisses ou bien en tubes doublés extérieurement de pièces en fonte à nervures servant à éviter le contact des fumées avec les tubes en acier et à accroître la surface de chauffe (économiseur Foster).

Les chaudières à tubes verticaux ont souvent des économiseurs du système dit intégral, construits comme les chaudières elles-mêmes. Comme l'eau d'alimentation est presque partout fournie par des évaporateurs-épurateurs et qu'elle est dégazée, on n'entend presque aucune plainte au sujet des corrosions intérieures. On nettoie les surfaces extérieures de l'économiseur à l'aide de vapeur, d'air comprimé ou de jets d'eau. Suivant la teneur en soufre du charbon, on asperge pendant la marche ou pendant un arrêt. Dans

ce dernier cas, on remplit le réchauffeur d'eau chaude avant ou immédiatement après le nettoyage, afin que l'eau d'aspersion s'évapore rapidement. Ce n'est que dans des cas peu nombreux qu'on s'est plaint d'attaques de rouille dues au nettoyage à l'eau. La suie enlevée est entraînée par l'eau dans les sous-sols destinés à recevoir les cendres. Dans une usine, on aspergeait aussi la partie inférieure de la chaudière à caisses à eau sectionnelles, mais cette pratique est très discutable.

Les réchauffeurs sont disposés soit au-dessus, soit derrière, soit sous les chaudières. Souvent, on attache de l'importance à réaliser complètement l'échange de chaleur à contre-courant. Les réchauffeurs surélevés demandent des bâtiments très hauts et coûteux.

Réchauffeurs d'air.

Beaucoup d'attention est donnée à la question du chauffage préalable de l'air, mais une grande expérience n'est pas encore acquise dans ce domaine et il y a peu de réchauffeurs d'air en service. La température de l'air à la sortie de ces appareils est en général de 70° à 110°. Ils ne permettent pas seulement d'utiliser la chaleur des gaz perdus, mais provoquent une combustion plus complète et augmentent la teneur en acide carbonique des gaz. Leur utilité est surtout grande dans les installations faiblement chargées.

Surchauffeurs dans le foyer.

Les surchauffeurs recevant la chaleur rayonnée et non plus seulement la chaleur transmise par contact, appareils qui sont complètement inconnus en Allemagne, sont déjà très répandus en Amérique. Ils sont généralement établis dans la paroi arrière du foyer. Leur nettoyage se fait au jet de vapeur. Les chaudières de 1.650 mètres carrés de Lakeside sont pourvues de tels surchauffeurs de 41 mètres carrés de surface seulement, mais recevant 90.000 à 130.000 calories par mètre carré et par heure. Les avantages de ces appareils sont la suppression de la résistance au tirage, la facilité d'établissement de la chaudière, le peu d'encombrement, la préservation ou la suppression d'une partie de maçonnerie réfractaire et la possibilité d'augmenter la surchauffe dans le cas d'anciennes chaudières pourvues de surchauffeurs par contact trop petits.

Autres moyens d'utilisation du rayonnement du foyer.

La caractéristique la plus marquante de la tendance américaine actuelle en matière de foyers de chaudières est le remplacement des parois maçonnées des chambres de combustion par des surfaces de chauffe. Dans cette voie, on est passé du surchauffeur décrit ci-dessus à la grille refroidie pour étonner les scories dans les foyers à charbon pulvérisé, puis aux tubes à eau établis dans la paroi arrière et, plus tard, dans les parois latérales des foyers. A ces foyers « refroidis », on attribue les avantages suivants : 1° abaissement de la température de la chambre de combustion ; 2° suppression ou préservation de maçonneries ; 3° accroissement de la surface de chauffe active ; 4° réduction des pertes par rayonnement.

L'aire des cendriers est souvent pavée à l'aide d'éléments creux dans lesquels passe une fraction (15 à 20 p. c.) de l'air comburant.

Chauffe automatique.

Le réglage automatique de l'arrivée du combustible en raison de la consommation de vapeur est fréquemment réalisé, surtout dans les chaufferies à charbon pulvérisé. Pour modifier l'avancement de la grille, le tirage, la pression de l'air soufflé, etc., on utilise des dispositifs actionnés par moteurs auxiliaires mûs par l'eau, l'air comprimé ou l'huile. Les régulateurs Bailey sont électriques et agissent sous l'effet de la pression dans la chaudière. Les enregistreurs Bailey sont très répandus ; ils donnent sur la même feuille la consommation de vapeur et le volume des fumées.

On règle l'appareil de manière que, lorsque la combustion est bien conduite, les deux diagrammes coïncident à peu près. Une divergence trop marquée indique donc que la combustion est mal réglée. Les appareils de contrôle et les régulateurs automatiques sont très chers et demandent une surveillance éclairée. Ils coûtent donc relativement plus dans le cas de petites chaudières. Les régulateurs américains ont atteint un degré de perfectionnement tel que, dans un avenir rapproché, les grandes chaufferies, surtout celles utilisant le charbon pulvérisé, fonctionneront automatiquement de la manière que fonctionnent actuellement les moteurs.

Recherches scientifiques concernant les chaudières.

Les chaudières du type standard ont fait l'objet de recherches sur la circulation de l'eau aux différents régimes de charge. Ces

recherches ont établi que pour une certaine charge, le sens de la circulation s'inverse dans la 7^e rangée de tubes. Ce phénomène était déjà connu par des publications allemandes et on en avait tiré la conclusion, en Allemagne, que le nombre de rangées de tubes inclinés ne doit pas dépasser 7 ou 8. En Amérique, au contraire, on ne voit aucun inconvénient à pareille inversion; on estime qu'elle permet une double circulation, l'une par le réservoir supérieur, l'autre par les tubes supérieurs.

En Amérique, on étend souvent les cloisons dirigeant les gaz sur la plus grande partie possible du faisceau tubulaire, pour éviter les « coins morts », obtenir une grande vitesse du gaz et leur faire balayer le mieux possible la surface du faisceau tubulaire. Le parcours des gaz est ainsi rendu très long et l'utilisation de la surface de chauffe de la chaudière et du réchauffeur d'eau est excellente, mais la perte de charge s'élève jusqu'à 175 millimètres d'eau (quand la vaporisation est de 60 à 70 kgr. par mètre carré et par heure). Le D^r Hans Thoma a, en Allemagne, traité à fond cette question et montré que, dans certains cas, la meilleure solution était de consentir à de telles résistances et d'appliquer le tirage artificiel. La perte de charge aux points de changement de direction et de section reste en tous cas la même et doit être réduite autant que possible.

Les sections des tubes de communication entre les réservoirs supérieurs des chaudières à tubes verticaux sont souvent insuffisantes. Pour y remédier, une firme relie une partie des tubes du faisceau antérieur au deuxième réservoir. Une autre, dans le même but, n'établit qu'un seul réservoir.

Résultats d'exploitation.

Crevasse aux rivures : Les fissures dans les assemblages par rivets sont aussi connues en Amérique que chez nous. Elles se produisent aussi bien sur les chaudières à tubes inclinés que sur les chaudières à tubes verticaux, sur les rivures à couvre-joints que sur les rivures à recouvrement, sur les rivures longitudinales que sur les coutures transversales et les assemblages des fonds. En Allemagne, la cause en est attribuée à la mauvaise qualité des matériaux ou bien à une exécution défectueuse, ou encore à une faute dans l'utilisation de l'appareil. En Amérique, on a également étudié d'une façon approfondie l'influence possible de l'eau

d'alimentation. Quelques chercheurs sont arrivés à la conclusion que la soude en solution peut exercer un effet très nuisible sur les matériaux des chaudières. Cependant, cette idée est controversée aussi bien en Amérique qu'en Allemagne. La question n'a d'ailleurs pas autant d'importance pour le second que pour le premier de ces pays, car en Allemagne il n'existe pas d'eau alcaline naturelle dans les régions industrielles et un enrichissement en soude du contenu d'une chaudière ne peut résulter que des opérations d'épuration artificielle; on l'évite facilement par une surveillance attentive.

Le danger des rivures à simple recouvrement est reconnu en Amérique depuis longtemps et l'interdiction en a été proposée. Le nouveau Boiler Construction Code de 1924 ne les admet plus que pour des corps cylindriques de moins de 900 millimètres de diamètre soumis à une pression inférieure à 7 atmosphères.

Personnel et frais d'exploitation: le tableau reproduit à la fin de cet article donne une vue d'ensemble des résultats d'exploitation, du personnel nécessaire et d'autres caractéristiques importantes de l'exploitation pour 13 centrales électriques américaines et 5 centrales électriques allemandes. Par suite du petit nombre d'établissements considérés, les données de ce tableau doivent être appréciées avec prudence, cependant elles montrent l'économie de main-d'œuvre obtenue par l'emploi de grandes unités, par la mécanisation très avancée et par l'application de procédés d'exploitation modernes. Dans les salles de chauffe américaines, les chauffeurs ne font que surveiller la combustion. Le graissage et les autres travaux accessoires sont effectués par des aides. Il y a des ouvriers préposés spécialement à l'observation des niveaux d'eau et au service des souffleurs de suie. Les grandes installations ont un ingénieur spécial pour le service des chaudières.

Dans le tableau, les salaires sont calculés, tant pour l'Amérique que pour l'Allemagne, au taux allemand et les dépenses totales sont ramenées à une même unité, c'est-à-dire à l'heure et au millier de mètres carrés de surface de chauffe. Les salaires suivants ont été admis pour une journée de huit heures : chef de chaufferie, 7,80 mk; premier chauffeur, 7,20 mk; chauffeur, 6,40 mk; aide-chauffeur, graisseur, alimenteur, 5,60 mk; ajusteur et aide-ajusteur, 6,00 mk; chargeur de cendres, 5,20mk. Le traitement annuel de l'ingénieur du service des chaudières a été fixé à 6.000 mk et

celui de son assistant à 4.000 mk. Dans ces conditions, le salaire moyen par tête du personnel de la chaufferie est d'environ 76 pf. par heure. Du tableau, il résulte que la dépense horaire de salaires pour le personnel chauffeur, du chef à l'alimenteur, est, pour 1.000 mètres carrés de surface de chauffe, en Amérique de 28,2 pf. et en Allemagne de 97,6 pf., soit environ 3 1/2 fois autant. En Allemagne, la surface de chauffe moyenne d'une chaudière n'est que le 1/3, la surface de chauffe moyenne par usine n'est que le 1/5 de la surface de chauffe correspondante en Amérique. En Allemagne comme en Amérique, les usines ayant les plus petites surfaces de chauffe supportent les plus fortes dépenses relatives de salaires. Les préposés au transport du charbon n'ont pas été considérés dans la comparaison faite. Les dépenses en salaires pour l'enlèvement des cendres sont en Allemagne 4,7 fois aussi élevées qu'en Amérique; elles dépendent non seulement de la disposition des lieux, mais de la teneur en cendres des charbons. En Allemagne, il y a généralement 2 à 4 trémies sous les grilles et, en outre, 4 trémies sous la chaudière et le réchauffeur; ces trémies sont de faible capacité et les registres de fermeture se manœuvrent à la main. Au contraire, en Amérique, il n'y a le plus souvent que 2 trémies pouvant contenir la production de 1 ou 2 jours; ces trémies sont placées en file au-dessus d'une voie de chemin de fer. Les orifices s'ouvrent et se ferment en quelques secondes sous l'action de l'eau ou de l'air sous pression. Les cendres des réchauffeurs et carneaux surélevés sont amenées, par le courant d'eau qui a servi au nettoyage, dans la trémie principale ou dans des rigoles du sous-sol. Le travail manuel est pour ainsi dire supprimé. Dans une des usines les plus récentes, possédant 19.000 mètres carrés de surface de chauffe, un seul homme assure en un poste l'évacuation de toutes les cendres.

D'autre part, les frais occasionnés par le soufflage des suies sont assez élevés. On y attache plus d'importance en Amérique que chez nous, parce que cette opération multiplie la durée de service des chaudières, supprime les adhérences aux tubes et favorise la marche économique. Le personnel nécessaire pour une puissance en pointe de 1.000 kw. est, en Allemagne, de 3,45 hommes par jour, soit plus du double du personnel utilisé en Amérique, qui est de 1,45. La préoccupation d'économiser la main-d'œuvre se montre aussi par l'emploi de téléphones reliant les postes importants: salle des machines et salle des chaudières, tableau et bureau de l'ingé-

nier, etc. En outre, les différents postes sont munis de transmetteurs de signaux. Ceux-ci non seulement épargnent beaucoup de courses, mais ils augmentent la sécurité en évitant les inexactitudes et les malentendus. Toutes les grandes chaufferies possèdent des monte-charges pour le transport du personnel et des matériaux.

La durée de fonctionnement des chaudières varie de 1 à 9 mois et est en moyenne de 78 jours. Cette durée est limitée par l'encrassement des tubes non à l'intérieur mais à l'extérieur, ainsi que par l'usure des grilles et des maçonneries. Les tubes brûlés sont rares, à cause du soin apporté à l'épuration de l'eau. En Allemagne, le faible volume des chambres de combustion et l'insuffisance des maçonneries pour les conditions actuelles de travail sont souvent la cause de frais d'entretien élevés.

Le relevé ci-dessus donne la consommation de chaleur de trois centrales américaines :

Centrale	Surface de chauffe par chaudière m ²	Rapport de la surface des réchauffeurs à la surface des chaudières %	Mode de chauffage	Pression des chaudières	Température de vapeur	Facteur de charge %	Consommation de chaleur en calories par kilowatt-heure
A	1300	62	grille à chaîne	28	370	40	4360
B	2840	65	charbon pulvérisé	29	370	—	4040
C	1570	78	charbon pulvérisé	19	320	52	3960

Les nombres indiqués à la dernière colonne sont extrêmement bas et pourraient difficilement être atteints en Allemagne. L'usine C est la centrale bien connue de Lakeside à Milwaukee, où le résultat favorable signalé a été obtenu après des années d'efforts. Dans les grandes installations, des laboratoires, des dispositifs de mesure et un groupe d'ingénieurs attachés aux recherches assurent une surveillance constante et amènent l'amélioration de la consommation de chaleur.

Il n'est pas d'usage, en Amérique comme en Allemagne, de tenir secrets les résultats d'exploitation; on y estime que la publication de ces résultats favorise le progrès et l'émulation des directeurs.

Les salaires aux Etats-Unis sont 3 à 4 fois plus élevés qu'en

Allemagne et leur importance dans les frais de réparation et d'exploitation est donc beaucoup plus grande. Pour cette raison déjà, l'économie dans les dépenses de construction est moins recherchée qu'en Allemagne. Il peut même être avantageux de construire une machine plus lourde et plus compliquée, si cela permet d'épargner de la main-d'œuvre. Les hauts salaires sont la cause principale de la mécanisation. Celle-ci permet d'obtenir à meilleur marché certaines marchandises fabriquées en masse, mais non les appareils lourds tels que les chaudières.

Comparaison de l'industrie de la construction des chaudières en Amérique et en Allemagne.

Les Américains ont fait de grands progrès tant en pratique qu'en théorie durant les dix dernières années. Dans la construction des grandes chaudières et de l'ensemble du matériel nécessaire à leur fonctionnement, ils nous dépassent de beaucoup. Leur supériorité en ce qui concerne ce matériel se traduit surtout dans les grands foyers mécaniques, les maçonneries pour grandes chaudières, les dispositifs d'évacuation des cendres et les systèmes de chauffe automatique.

Par contre, les chaudières allemandes de moins de 1.000 mètres carrés de surface de chauffe sont plus soigneusement étudiées, et dans l'exécution technique, l'Allemagne est supérieure, si on compare les quatre à cinq meilleures firmes de chaque pays.

L'Américain est un maître dans la conduite des employés et des ouvriers. Entre les chefs et les subordonnés, il règne des rapports agréables, facilités par la circonstance que le travailleur américain n'est pas imbu de l'idée de la lutte de classe et ne voit pas dans son chef un ennemi. Il cherche, par son zèle et en se perfectionnant lui-même, à s'élever en travaillant. Une bonne entente existe également entre les fournisseurs et les acheteurs. Les uns et les autres travaillent de concert au progrès technique et épargnent ainsi du temps et de l'argent. Chaque travailleur a conscience de sa responsabilité et ressent une certaine fierté d'appartenir au personnel de telle usine. De nombreux périodiques vulgarisent la technique parmi le peuple qui s'intéresse vivement à tous les progrès.

Résultats d'exploitation de centrales électriques à vapeur américaines et allemandes.

I. — Salaires.

	AMÉRIQUE				Rapport entre le nombre allemand et le nombre américain	ALLEMAGNE			
	Nombre d'établissements consultés	Surface de chauffe moyenne par usine m ²	Surface de chauffe moyenne par chaudière m ²	Salaires par heure et par 1.000 m ² de surface de chauffe pf.		Salaires par heure et par 1.000 m ² de surface de chauffe pf.	Surface de chauffe moyenne par chaudière m ²	Surface de chauffe moyenne par usine m ²	Nombre d'établissements consultés
a) Chef de chaufferie, premiers chauffeurs, chauffeurs, aides, alimenteurs.	10	—	600	41,5	—	143,5	370	—	5
		—	2840	21,2	—	48,2	560	—	
		24600	1305	28,2	347	97,6	490	5600	
		—	975	15,5	—	29,5	370	—	
b) Evacuation des cendres et scories (salaires).	7	—	2830	1,0	—	13,5	560	—	5
		26500	1510	4,4	470	20,7	490	5600	
		—	1395	2,2	—	87,7	370	—	
c) Entretien (salaires).	3	—	2830	0,8	—	11,7	560	—	5
		29000	1500	1,4	—	56,6	490	5600	
		—	1395	8,2	—				
d) Soufflage des suies (salaires).	3	—	2830	13,3	—	(compris dans a) et c)			5
		29000	1930	10,7	—				
		—	975	2,0	—				
e) Ingénieurs de chaufferie (traitements).	6	—	2830	6,2	—	(n'existent pas)			5
		28000	1495	3,4	—				
		—	1395	45,9	—	258,1	370	—	
f) Total des salaires et traitements.	3	—	1395	47,2	—	78,1	560	—	5
		29000	1930	46,5	314	146	490	5600	

II. — *Nombre de tubes mis hors service.*

AMÉRIQUE				ALLEMAGNE			
Nombre d'établissements consultés	Surface de chauffe moyenne par usine	Surface chauffe moyenne par chaudière	Nombres de tubes endommagés annuellement par 10.000	Nombre de tubes endommagés annuellement par 10.000	Surface de chauffe moyenne par chaudière	Surface de chauffe moyenne par usine	Nombre d'établissements consultés
	m ²	m ²			m ²	m ²	
4	—	975	0	0	370	—	5
	—	2190	5,4	230	560	—	
	30000	1500	2,3	7,4	490	5600	

III. — *Personnel.*

AMÉRIQUE				ALLEMAGNE				
Nombre d'établissements consultés	Surface de chauffe moyenne par chaudière	Puissance en pointe	Personnel par jour pour une puissance en pointe de 1000 Kw.	Rapport entre le nombre allemand et le nombre américain %	Personnel par jour pour une puissance en pointe de 1000 Kw.	Puissance en pointe	Surface de chauffe moyenne par chaudière	Nombre d'établissements consultés
	m ²	Kw				Kw	m ²	
2	1000	130000	1,75	—	4,5	11200	400	4
	1400	175000	1,14	—	2,5	40000	560	
	1200	155500	1,45	234	3,4	29000	520	

N. B. — Les trois nombres de chaque rubrique indiquent respectivement le minimum, le maximum et la moyenne, pour les établissements consultés, de la caractéristique qui fait l'objet de la colonne considérée. La moyenne est indiquée en caractères gras.