

Les combustibles, les installations, la manutention de la centrale thermo-électrique de grande puissance

Autor(en): **Greco, Lino**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **79 (1953)**

Heft 9-10: **École polytechnique de l'Université de Lausanne: publication du centenaire 1853-1953, fasc. no 1**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59756>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LES COMBUSTIBLES, LES INSTALLATIONS, LA MANUTENTION de la centrale thermo-électrique de grande puissance

par LINO GRECO, ingénieur E. P. U. L., à la S. A. Brown, Boveri & Cie, à Baden

Généralités

L'industrie suisse a conçu, construit et livré ces dernières années pour une centrale thermique à l'étranger deux turbo-groupes de 110 000 kW (fig. 1). C'est une des plus grandes puissances développées sur une seule ligne d'arbre tournant à 3000 t/min. Des unités de 50 000 à 60 000 kW à la vitesse de 3000 t/min (fig. 2) ont fait leur première apparition en Europe juste avant la guerre; depuis, leur nombre n'a fait que croître et actuellement des groupes de cette puissance installés dans plusieurs centrales (fig. 3) éparpillées dans différents pays assurent un service continu et satisfaisant.

Dans une centrale hydraulique, l'eau tombant d'une hauteur donnée, fournit le travail utilisé; tandis que dans la centrale thermique le combustible, l'air, la vapeur, l'eau de réfrigération, contribuent à la production de l'énergie en une suite d'opérations continues.

Un groupe analogue à celui de la figure 1 ou plusieurs groupes de puissance moindre produisant 100 000 kW pendant une heure emploient les matières ci-dessous, transportées sur des bennes et des tapis roulants ou circulant dans des tuyauteries de toute grandeur. Pour vaporiser et surchauffer les quelques

centaines de tonnes de vapeur nécessaire, il faut engouffrer 35 à 40 tonnes de houille dans les foyers des chaudières, où le combustible est intimement mélangé à plus de 500 tonnes d'air. Sur les chemins parcourus par les gaz, il faut souvent extraire plus de 4 tonnes de matière inerte provenant des minéraux mêlés au combustible; une grande part de ces matières tourbillonne, sous forme de fines gouttes de laitier, dans les gaz aux températures initiales supérieures à 1500° C, diminuant peu à peu jusqu'à 150° C à la sortie des gaz par la cheminée. Les 400 tonnes de vapeur à 80 atm. et 500° C provenant des chaudières, passent par la turbine en se détendant à travers plusieurs dizaines de rangées d'ailettes réparties dans les différents cylindres. Après avoir fourni le travail demandé, la vapeur arrive aux condenseurs à la pression de quelques centièmes d'atmosphère et à la température de 25° C; dans ces appareils, elle se condense grâce aux 20 000 m³ d'eau pompée depuis la rivière ou les tours de réfrigération, à travers plusieurs milliers de tubes en alliage de cuivre formant la partie active du condenseur. Pour couvrir les pertes inévitables d'eau coulant par les purges de la chaudière, celles de vapeur s'échappant par les boîtes étanches du turbo-groupe et celles prove-

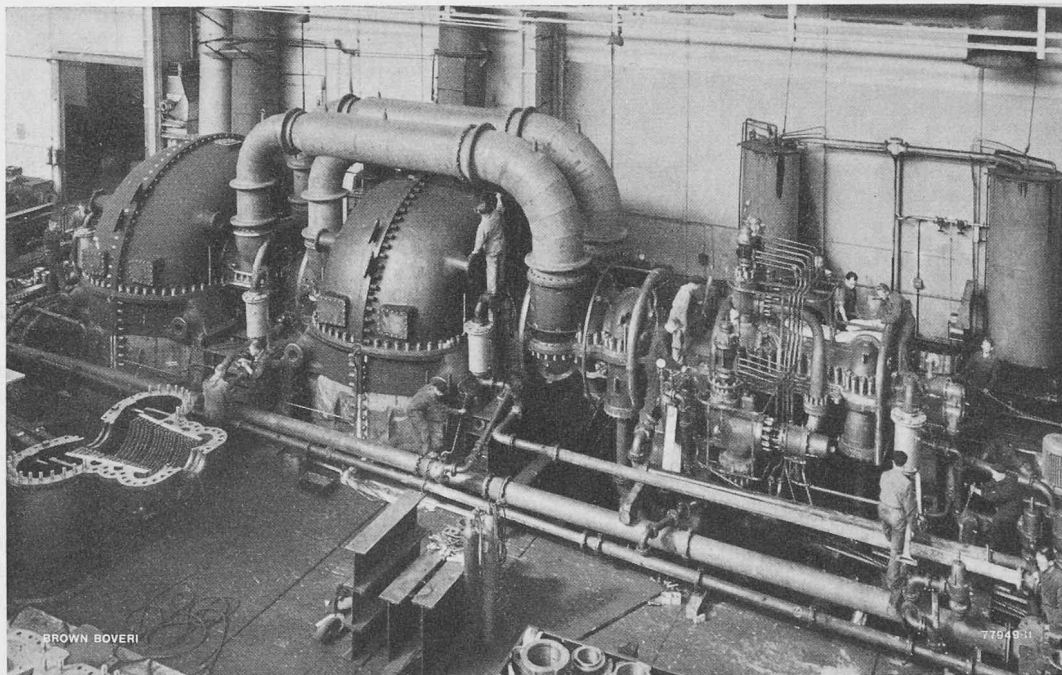


Fig. 1. — Turbine à vapeur de 110 000 kW sur la plateforme d'essais des Ateliers Brown Boveri, à Baden

A droite, le cylindre haute pression avec deux soupapes d'admission de la vapeur, dont une visible, et quatre soupapes de réglage, dont deux sur le bâti du cylindre et une sur celui de chaque soupape d'admission. Tous les organes de réglage sont commandés par l'huile sous pression.

A gauche, les deux cylindres d'échappement à double flux. Le volume énorme de la vapeur arrivant au condenseur impose une subdivision du flux d'écoulement en quatre parties.

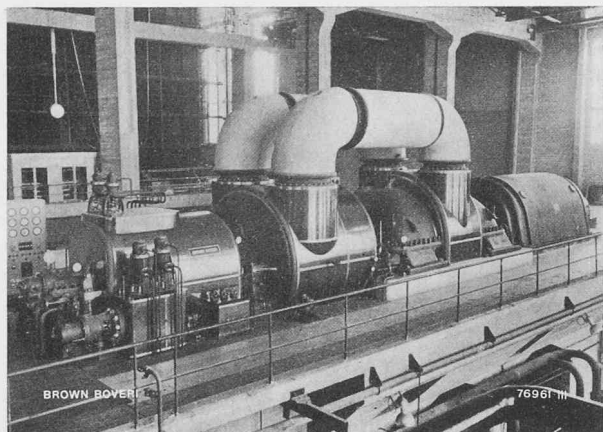


Fig. 2. — Turbine de 50 000 kW à trois corps.

Deux à trois cylindres connectés en série permettent de mieux maîtriser les contraintes mécaniques et thermiques qui se manifestent dans les différentes parties de la machine. Brown Boveri a construit, ces dix dernières années, entre autres 40 groupes pouvant fournir ensemble 2 250 000 kW.

nant de l'eau et la vapeur se perdant par les différents joints, il faut distiller plusieurs tonnes d'eau brute.

La réalisation et l'exploitation d'une centrale thermique posent des problèmes demandant des solutions audacieuses et variées. Les détails de construction et de fonctionnement des nombreux appareils composant la centrale sont décrits dans les ouvrages spécialisés. Dans chaque pays possédant une industrie importante, on publie de nombreuses études, des comptes rendus sur les dernières nouveautés et les progrès réalisés [12], parfois des résultats d'expérience. Pour toute question particulière, nous devons renvoyer le lecteur à ces travaux.

Il existe un chiffre permettant de juger la conception correcte et la bonne marche d'une centrale thermique. C'est le prix de revient du kWh fourni au départ de la centrale. L'usage a réuni en trois groupes les nombreux facteurs contribuant à la formation de ce prix :

- a) frais de combustible ;
- b) charges financières résultant des sommes investies ;
- c) dépenses d'exploitation et d'entretien.

Selon les données statistiques publiées [1] pour une centrale thermique en service continu, la proportion entre a), b) et c) est en moyenne de 6, 3, 1.

Un quart jusqu'à un peu plus d'un tiers environ de la chaleur dégagée par les combustibles dans les foyers est transformée en énergie électrique.

Le choix approprié des moyens disponibles pour obtenir un prix de revient minimum du kWh, résultant de la somme de a), b) et c), représente l'art de l'ingénieur.

Les combustibles, la combustion

Trois faits influencent la combustion et déterminent la construction des appareils essentiels de la centrale thermique :

Le carbone composant la plus grande partie des combustibles, est contenu dans ceux-ci sous forme de grains ultramicroscopiques dilués dans les matières volatiles ; les paraffines, les naphthes, les aromates et les

asphaltes réunis en groupes composant ces matières volatiles où une bonne part des huiles de pétrole se désagrègent sous l'effet de la chaleur et de la température à une allure caractéristique pour chaque groupe ; le soufre contenu dans la matière combustible agit sur les minéraux, produit des gouttes de laitier extrêmement fluides et par là très corrosives.

Le carbone

L'analyse élémentaire des combustibles naturels donne pour la matière brûlée dégageant la chaleur utilisable une contenance en carbone allant de 75 % dans le gaz méthane à 95 % dans l'antracite.

A l'état solide, le carbone est connu sous forme de diamant ; à l'état liquide ou gazeux, nous le trouvons seulement en combinaison avec l'hydrogène ou l'oxygène dans les combustibles correspondants. Sous forme de cristaux ultramicroscopiques en suspension dans les matières volatiles, le carbone est la quantité prépondérante des produits de décomposition du bois, tels que les tourbes, les lignites, les houilles et les anthracites. Les investigations récentes aux rayons X effectuées sur la cellulose et les produits de décomposition du bois [2] révèlent, pour les cristaux de carbone, deux dimensions caractéristiques *a* et *c*. Fort probablement plusieurs milliers d'atomes formant des cristaux comme ceux du diamant, sont assemblés en grains analogues à un ellipsoïde de révolution. Etant donné que dans la nature nous trouvons partout cette forme, et ceci depuis les grands amas stellaires jusqu'aux cellules microscopiques placées à l'origine de la matière vivante d'où proviennent les combustibles, il paraît admissible d'extrapoler jusqu'à la grandeur des cristaux ultramicroscopiques de carbone et admettre des grains ovoïdes pour ces derniers. Cette hypothèse permet de tirer des conclusions nombreuses et toutes nouvelles des travaux empiriques anciens et récents traitant des combustibles. La propriété du carbone de s'agglomérer en grains ultramicroscopiques influence tous les phénomènes de la combustion et détermine indirectement

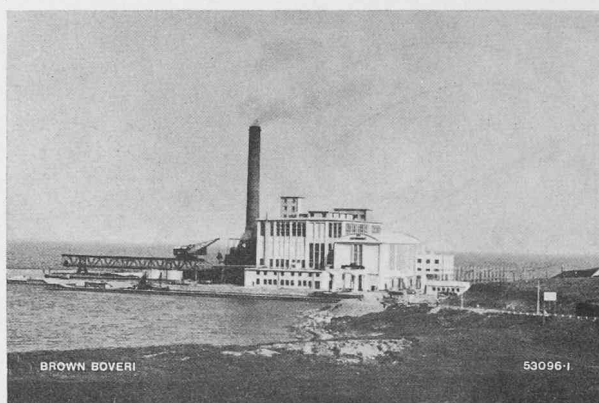


Fig. 3. — Centrale thermique au Danemark, pour laquelle Brown Boveri a livré entre 1937 et 1952 quatre turbo-groupes de 35 000 kW chacun alimenté avec de la vapeur à 36 kg/cm² et 440° C, et deux groupes de 60 000 kW chacun recevant la vapeur à 88 kg/cm² et 510° C.

Depuis la première turbine à vapeur installée sur le continent il y a cinquante ans, Brown Boveri a livré 5200 unités pour une puissance globale de 22 500 000 kW.

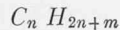
mais impérativement toute la construction d'un appareil dans lequel on brûle des combustibles naturels.

Les combustibles solides

Sous l'effet de la chaleur, les tourbes, les lignites, les houilles, les anthracites connus [3], [4], [5] se désagrègent. En même temps une partie des huiles de goudron formant les matières volatiles de ces combustibles s'évaporent, tandis que le reste, sous l'influence de la température de plus en plus élevée, se décompose en carbone, hydrogène, oxygène, azote, soufre. Il reste un résidu solide formé de carbone et de matières minérales, le coke. Le graphite serait le résultat d'un processus naturel analogue.

Les combustibles liquides

Les huiles de pétrole brut [6] de composition et d'aspect semblables aux huiles de goudron sont un mélange de combinaisons de carbone et d'hydrogène. Les chimistes ont analysé et étudié, puis classé plusieurs centaines de combinaisons, qui toutes peuvent s'exprimer par la formule très simple :



n prend une valeur allant de 1 à plusieurs dizaines ; les valeurs de m correspondent aux groupes classés sous le nom de paraffines P (+ 2), naphtes N (0), aromates A (- 6) et asphaltes R (- 12, - 18 ...). Selon la provenance des pétroles bruts, ces groupes s'y trouvent en proportion déterminée. Les recherches effectuées sur les huiles de goudron [7] montrent la désagrégation de P , N , A , R sous l'effet de la chaleur à des températures allant en augmentant (fig. 4). Cette allure différente de désagrégation joue un rôle très important lors de la combustion ; elle impose la sélection des combustibles employés dans les machines motrices. L'oxygène, l'azote, le soufre forment avec le carbone et l'hydrogène peu de combinaisons, quelques pour-cents de la matière totale. Les matières minérales qui, dans les combustibles solides, atteignent parfois plusieurs dizaines de pour-cents, dépassent rarement 1 % dans les pétroles bruts. Toutefois, dans les appa-

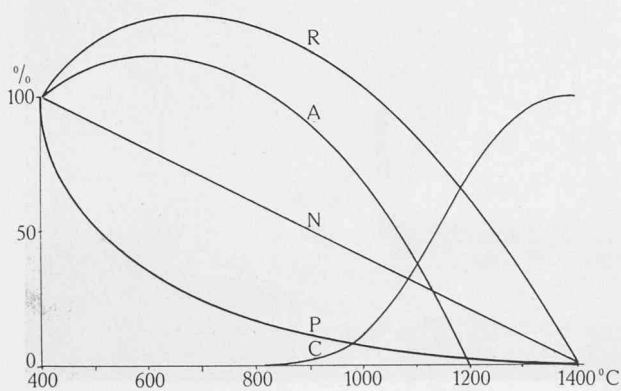


Fig. 4. — Désagrégation des
Paraffines P Aromates A
Naphtes N Asphaltes R
composant les huiles de goudron des matières volatiles des houilles.

A partir de 800° C apparaissent les premières traces de carbone C. A 1400° C la désagrégation totale en carbone et en gaz hydrogène est pratiquement achevée.

reils en service continu brûlant les résidus de raffinage des pétroles, les faibles quantités des matières inertes, en s'accumulant, provoquent des inconvénients sérieux.

Les combustibles gazeux

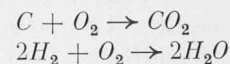
Dans les dépôts naturels des combustibles, sous l'effet des pressions élevées des couches terrestres, les vapeurs légères de goudron ou de pétrole se désagrègent ; le produit final est du gaz méthane, première combinaison du groupe des paraffines. Au-dessus des dépôts de combustibles liquides, ce gaz est mélangé à des vapeurs d'huiles légères.

Pratiquement la combustion du carbone en excès donne toujours un mélange des gaz CO et CO_2 ; aux températures élevées, le deuxième gaz disparaît complètement. Ce phénomène naturel de production de CO est utilisé dans l'industrie métallurgique pour réduire le minerai de fer dans le haut fourneau. L'opération laisse un surplus de gaz combustible dilué dans l'azote et saturé de poussières. Après nettoyage ce gaz est utilisé pour des usages divers.

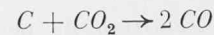
La combustion et la gazéification simultanées

La plus grande part des combustibles solides et liquides se compose de cristaux ultramicroscopiques de carbone. Les instruments mécaniques dont nous disposons ne suffisent pas pour briser ces grains ultra-fins ; mais fort heureusement la nature nous fournit les moyens nécessaires à l'opération.

Les deux réactions classiques à la base de toute étude sur la combustion



devraient être complétées par une troisième



car dans l'entourage immédiat des grains ultramicroscopiques de carbone, le jeu des équilibres chimiques pro-

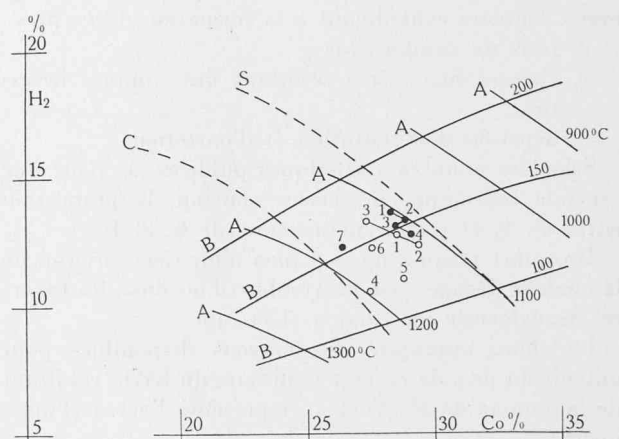


Fig. 5. — Oxyde de carbone CO et hydrogène H_2 en % du volume total, résultant de la combustion et de la gazéification simultanées dans les espaces libres d'une couche épaisse de coke.

--- Essais de Neumann (540 mm de hauteur de couche).
••••• Essais industriels (1200-1600 mm de hauteur de couche).
— Courbes calculées d'après les bilans des matières et thermiques.

- A Températures des gaz.
B Quantités de vapeur d'eau désagrégée en g/kg air sec.
S Hauteur de la couche 540 mm.
C Collecteur des gaz au-dessus de cette couche.

voque sans exception cette réaction. C'est le moyen naturel dont nous disposons pour briser les grains ultramicroscopiques de carbone.

Les recherches de Neumann [8], complétées par toute une série de travaux ultérieurs, nous renseignent à l'échelle des mesures possibles sur la combustion et la gazéification simultanées du carbone. Les résultats d'essais (fig. 5) permettent de se rendre compte des réactions se produisant dans les espaces libres entre les grains d'une couche de carbone (coke). Dans la flamme d'une chambre de combustion de chaudière ou de turbine à gaz, sur un long parcours des gaz, chaque tourbillon contient un excès de carbone sous forme de cristaux ultramicroscopiques. Toute la série de réactions étudiées par Neumann et successeurs se reproduit qualitativement et quantitativement.

L'évaporation et la désagrégation des P, N, A, R

Aux réactions chimiques du carbone pur viennent se superposer les effets de vaporisation et de désagrégation des P, N, A, R formant les matières volatiles des combustibles solides ou composant la totalité des combustibles liquides. Nous trouvons alors dans les flammes les cénosphères du pulvérisé et de l'écume pour la plupart des résidus de raffinage des huiles de pétrole.

Les matières minérales et le soufre

Au moment de la combustion, le soufre combiné au carbone, à l'hydrogène, à l'oxygène et à l'azote est libéré, il réagit immédiatement avec les matières minérales et donne des produits aux points de fusion extrê-

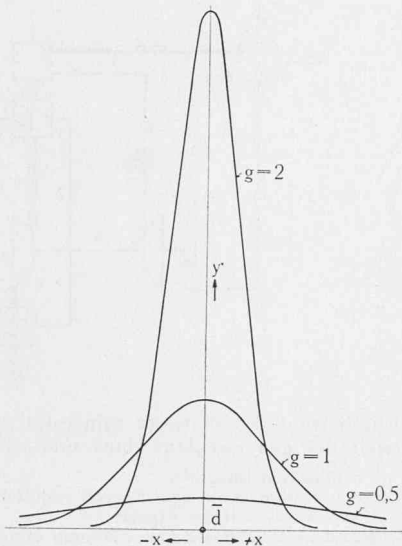


Fig. 6. — Distribution des poussières dans les fumées.

$$y = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(gx)^2}{d}}$$

courbe donnant le pourcentage des poussières en fonction du diamètre du grain où

$$y dx = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(gx)^2}{d}} dx = \text{fraction infiniment petite de la quantité unitaire de poussières.}$$

$\pm x$ diamètre du grain correspondant au pourcentage p en poids des poussières. Pratiquement il suffit de limiter la valeur de l'intégrale à 0,99

$$p = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-x}^{+x} e^{-\frac{(gx)^2}{d}} d(gx).$$

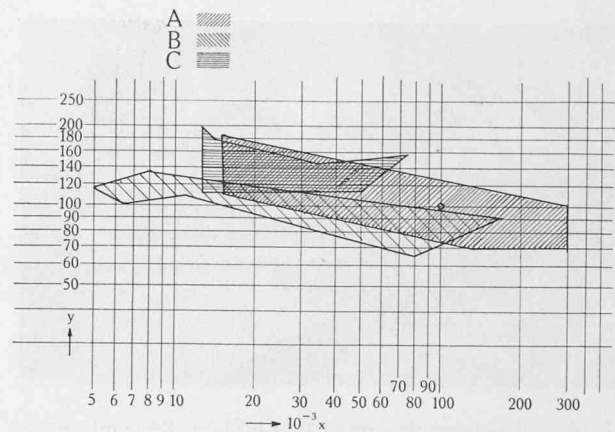


Fig. 7. — Variation du prix de l'installation du kW installé.

$y = \%$ Le prix d'une installation de 100 000 kW est égal à 100 %.

$10^{-3}x =$ Puissance nominale en kW.

- A houille.
- B gaz naturel.
- C huile minérale.

mement bas. Une partie des gouttes de laitier qui, aux températures de combustion, sont extrêmement fluides, vont se coller aux parois limitant les chambres de combustion, en provoquant des corrosions et des érosions rapides. Le reste des gouttes de laitier contenues dans les gaz se solidifient lorsque la température baisse. Si la quantité de soufre présent est grande, l'intervalle de solidification est de plusieurs centaines de degrés et les inconvénients chimiques et mécaniques se manifestent sur un long parcours des gaz. La qualité du combustible, l'allure de la combustion, la vitesse relative d'entraînement des gaz, le poids spécifique des gouttes de laitier et des gaz brûlés, donneront des poussières en proportion toujours exprimables par une courbe en cloche de Gauss (fig. 6).

Les installations de production

Prix d'installation

Le prix du kilowatt installé, qui varie avec la puissance [1], dépend aussi du prix du combustible (fig. 7). Les conditions de fonctionnement et l'époque où l'installation a été prévue, déterminent pour une puissance donnée l'écart de prix indiqué sur les courbes. 20 % des sommes investies dans la centrale représentent les bâtiments, les aménagements divers, les travaux de génie civil ; 45 % représentent le coût des chaudières ; 25 % sont absorbés par l'installation des groupes turbos et le 10 % de reste représentent le matériel électrique, celui de contrôle et celui des petites installations auxiliaires. Selon le climat, on a installé parfois une partie ou la totalité des machines et des appareils à l'air libre ; ceci diminue il est vrai la part absorbée par les bâtiments et les travaux de génie civil, mais les soubassements et les fondations absorbent des sommes non négligeables essentiellement déterminées par la nature du terrain choisi.

Chambres de combustion

Les combustibles à forte teneur en cristaux de carbone ultramicroscopiques et contenant beaucoup de matières

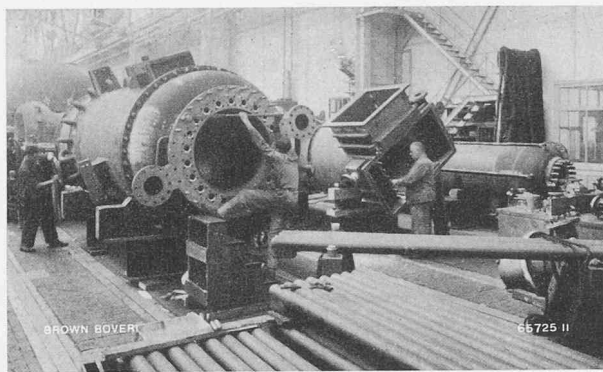


Fig. 8. — Chambre de combustion brûlant des combustibles liquides et gazeux sous pression.

Devant la chambre, les tubes évaporateurs qui seront montés à l'intérieur sur le pourtour.

A droite de la chambre, l'enveloppe du surchauffeur.

A l'extrême droite, le corps cylindrique dans lequel, sous l'effet des forces centrifuges, se séparent l'eau et la vapeur provenant des tubes et serpentiins évaporateurs.

minérales limitent souvent les charges spécifiques des chambres de combustion à moins de 200 000 kcal/m³. Ce chiffre est très loin des valeurs obtenues dans les chambres de combustion travaillant sous pression, où l'on atteint 7 000 000 à 8 000 000 kcal/m³ (fig. 8). Dans ces chambres les cristaux ultramicroscopiques de carbone sont rapidement détruits grâce aux conditions favorables de régime atteintes, mais les grandes quantités de matières minérales contenues dans certains combustibles restent un obstacle difficile à vaincre. Il se peut que la qualité et la faible quantité des minéraux laissent pour un temps l'illusion d'une solution possible ; en réalité, les difficultés ne sont que retardées et tôt ou tard elles se manifestent de façon irrémédiable. L'expérience prouve que l'emploi des charbons pulvérisés, contenant de fortes quantités de matières minérales, est incompatible avec l'utilisation des chambres de combustion travaillant sous pression ; il va sans dire qu'il n'est pas question d'introduire dans ces chambres du combustible sous forme de gros grains.

Combustion et gazéification simultanées sous pression

La structure du carbone révélée par les rayons X, la quantité et la qualité des matières minérales contenues dans les combustibles, imposent la gazéification intégrale et l'élimination des matières inertes avant l'introduction des gaz obtenus dans le circuit thermique travaillant sous pression. Une gazéification à pression atmosphérique ne peut pas être réalisée de façon économique. Une solution possible serait celle représentée par la figure 9, où dans une couche assez épaisse de combustible on réalise une gazéification intégrale sous pression. La même solution envisagée pour la chaudière est valable pour la turbine à gaz. Cette façon de procéder légèrement modifiée peut être employée pour les résidus de raffinage des pétroles bruts contenant des matières minérales difficiles à éliminer. Dans l'industrie métallurgique la gazéification intégrale sous pression est réalisée depuis longtemps à grande échelle puisque le gaz CO est employé à quelques atmosphères dans la couche réductrice du haut fourneau. L'industrie chimique emploie des appareils fournissant de très grandes

quantités de gaz CO ; ces appareils travaillent à des pressions de plusieurs dizaines d'atmosphères. Dans le haut fourneau les matières minérales sont éliminées sous forme liquide, par contre les appareils travaillant pour l'industrie chimique éliminent la matière minérale sous forme solide. L'azote introduit avec l'oxygène de combustion et gazéification peut être un volant absorbant de la chaleur, mais aussi un ballast ; on l'élimine avant les opérations principales ; ce cas un peu spécial ne modifie en rien les données du problème et la solution réalisée. A quelques rares exceptions près, la composition des matières minérales impose leur éloignement de la couche en réaction sous forme solide mais en définitive cette condition facilite les opérations à entreprendre.

Amélioration du rendement thermique

L'utilisation rationnelle de l'énergie contenue dans les gaz d'échappement est une autre réalisation intéressante pour une chaudière avec chambre de combustion travaillant sous pression. Les progrès de ces dernières années dans la construction des turbines à gaz donne la possibilité d'utiliser un groupe analogue à la figure 10, connecté sur le circuit des fumées et permettant d'obtenir de l'énergie électrique supplémentaire envoyée dans le réseau. La puissance en excès est limitée par la quantité des gaz de combustion disponible ; pour fournir cette puissance il faut envisager au moins une

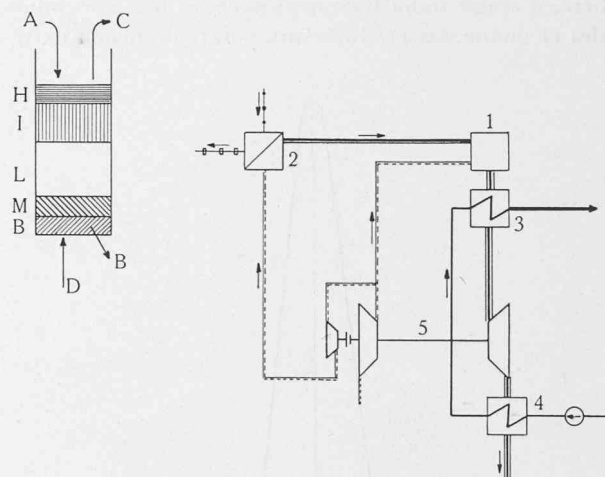
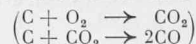


Fig. 9. — Elimination des matières minérales avant le circuit principal des gaz circulant dans une chaudière.

- 1 Chambre de combustion intégrale.
 - 2 Chambre de combustion et de gazéification simultanée.
 - 3 Evaporateur et surchauffeur de vapeur.
 - 1, 2 et 3 travaillent à la pression de plusieurs atmosphères.
 - 4 Récupérateur de chaleur sur les fumées travaillant à pression atmosphérique.
 - 5 Turbogaz.
- A Combustible en grains. — — — — —
 B Matières minérales en grains. —□—□—□—
 C Gaz combustible. — — — — —
 D Air comburant. — — — — —
 e Fumées. — — — — —
 f Eau d'alimentation. — — — — —
 g Vapeur. — — — — —
 H Evaporation de l'humidité.
 I Dégagement des matières volatiles.
 L Gazéification résiduelle sous pression $C + CO_2 \rightarrow 2CO$.
 M Combustion et gazéification simultanées sous pression



où les quantités de CO et CO₂ résultent des lois des équilibres chimiques.

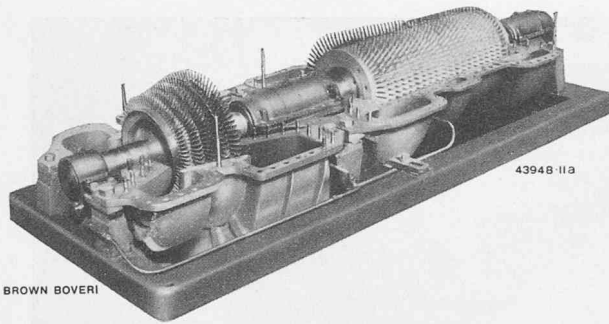


Fig. 10. — Turbine à gaz de chaudière comprimant l'air comburant et pouvant fournir en même temps un excédent d'énergie.

A gauche, la turbine connectée sur les fumées de la chaudière ; à droite, le compresseur axial d'air au rendement élevé et de grand débit fournissant l'air sous pression pour la chambre de combustion.

consommation de chaleur correspondant à 860 kcal/kWh, augmentée des pertes mécaniques et électriques. Le gain réalisé est toujours suffisant pour couvrir au moins tous les besoins d'énergie absorbés par les auxiliaires, ce qui fait que le rendement de l'ensemble de l'installation est toujours supérieur à celui d'une installation thermique fonctionnant à la vapeur seulement. On pourra toujours disposer les récupérateurs de chaleur sur les fumées, de façon que le prix de l'installation reste dans les limites imposées par la bonne économie de l'ensemble.

Manutention

Le mouvement continu des matières nécessaires à la production absorbe en moyenne l'énergie suivante [9] :

Préparation du combustible	0,6 %
Refoulement de l'air comburant et des fumées	1 %
Refoulement de l'eau d'alimentation	4,6 %
Circulation de l'eau de réfrigération	1,2 %
Divers	0,9 %
Total	5,3 %

de la puissance fournie au départ de la centrale.

Les quelques milliers de kilowatts absorbés par les services auxiliaires de la centrale thermique sont répartis entre des moteurs électriques aux caractéristiques différentes qui doivent assurer sans défaillance le service demandé ; dans la centrale moderne, on abandonne de plus en plus l'installation d'autres machines d'entraînement. Les conditions de service et les possibilités d'entretien déterminent la réserve à prévoir. Le transport hydraulique des cendres et des mâchefers complété par une décantation dans les bassins extérieurs permet de réduire la production des poussières dangereuses pour les hommes et les machines. La préparation de quelques tonnes d'eau distillée et appropriée à l'alimentation des chaudières doit toujours faire l'objet de soins constants et méticuleux, car aux pressions et aux températures de fonctionnement de toute chaudière moderne, une négligence quelconque entraîne des pertes considérables. Même l'eau de réfrigération demande des soins appropriés car une rivière charrie toutes sortes de résidus en suspension ou la circulation continue dans les tours, par suite de l'évaporation, concentre les matières minérales diluées dans l'eau.

Conclusion

Pour les grandes puissances, la vapeur restera pendant longtemps l'anneau de liaison indispensable entre la source chaude du foyer où brûle le combustible et le puits froid du condenseur où la chaleur inutilisable est renvoyée à l'ambiance extérieure ; la vapeur s'adapte admirablement aux tâches multiples surgissant au cours des transformations compliquées. Les recherches sur l'écoulement des fluides relèguent parmi les vieux souvenirs la question de l'utilisation d'un aubage à action ou à réaction ; les lois, aujourd'hui bien connues, fixent le genre d'aubage à choisir pour guider la vapeur et utiliser au mieux la détente entre la chaudière et le condenseur.

Les combustibles de bonne qualité sont de plus en plus utilisés à des emplois lucratifs et la combustion dans un foyer de chaudière ne représente plus qu'un moyen de valorisation des combustibles de qualité inférieure. Une disposition rationnelle des appareils et des machines devra permettre d'utiliser au maximum le volume disponible, de diminuer la quantité de matériel employé et par là réduire tous les frais de l'installation. Le choix des combustibles de bas prix doit aller de pair avec la diminution du capital investi

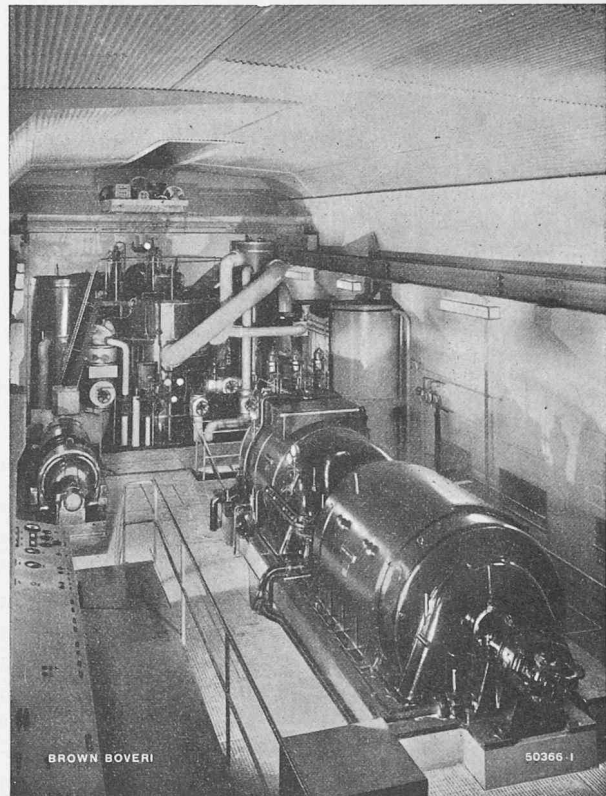


Fig. 11. — Centrale thermique de 9400 kW livrée par Brown Boveri utilisant au maximum l'espace disponible et dont la turbine à gaz fournit de l'énergie au réseau.

Au fond, la chambre de combustion travaillant sous pression. A gauche, groupe Léonard de réglage et pupitre de manœuvre. A droite, turbogroupe alimenté par la chaudière avec de la vapeur à 21 kg/cm², 435° C. La turbine à gaz fournissant l'énergie supplémentaire dont 135 kW vont au réseau, est cachée par la plate-forme du turbogroupe.

et les dépenses de manutention réduites. La centrale de la figure 11 représente au point de vue de l'utilisation de l'espace une réalisation remarquable. On a atteint un taux de 4 kW/m³ installés. La turbine à gaz fournissant un appoint d'énergie supplémentaire est la deuxième particularité de réalisation dans cette centrale. En plus de la puissance nécessaire au refoulement de l'air comburant et des fumées, environ 1 % comme nous l'avons vu plus haut, la turbine permet de recueillir 1,5 % d'excédent de puissance. Aux températures aujourd'hui admises, il va sans dire que la puissance disponible serait plus grande.

Les puissances développées, les dimensions des machines et des appareils, les températures de la vapeur vive aujourd'hui couramment envisagées écartent automatiquement des variations brusques de charge provoquant des changements rapides des contraintes thermiques [10]. Une usure anormale des pièces des machines serait la rançon d'une variation répétée des conditions de fonctionnement. Dans une centrale thermique moderne, le groupe chaudière-turbo aux puissances et aux rendements élevés devrait assurer la charge de base tandis qu'un ou plusieurs groupes turbogaz [11] (fig. 12) d'exécution simple et robuste, absorberaient les pointes et les variations rapides de charge.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] 5th Steam Station Cost Survey. Electr. World 1948.
- [2] Proceedings of a Conference on the Ultra-fine Structure of Coal and Cokes... BCURA, London, 1944.
- [3] RAISTRICK and MARSHALL: *The Nature and Origin of Coal and Coal Seams*. London, 1939.
- [4] Dr Ing. W. GUMS: *Die Kohle*. Essen, 1943.
- [5] D. H. BANGHAM: *Progress in Coal Science*. New York-London, 1950.
- [6] BROOKS BEJAMIN F. and DUSTAN A. E.: *The Science of Petroleum*. London, 1950.

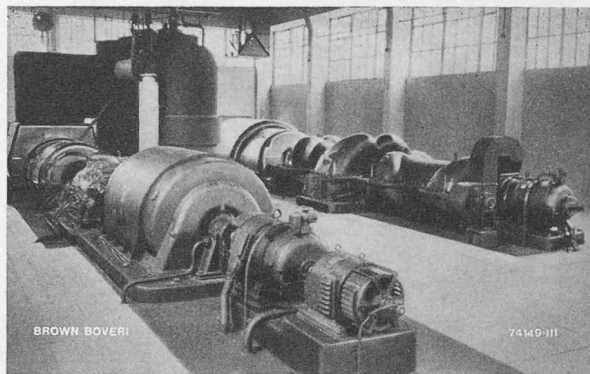


Fig. 12. — Turbine à gaz de 10 000 kW ayant fonctionné depuis sa mise en marche en 1951 pendant plus de 10 000 h à la charge moyenne de 7500 kW avec un rendement thermique industriel moyen de 23,6 %.

A gauche, ligne d'arbre haute pression tournant à vitesse constante entraînant l'alternateur. A droite, ligne d'arbre basse pression à vitesse variable. Au milieu, les deux chambres de combustion.

Ce groupe a marché depuis sa mise en service à l'entière satisfaction de la société qui l'exploite.

Brown Boveri, qui a fait œuvre de pionnier, a livré depuis 1938 pour des installations industrielles du monde entier 16 unités donnant une puissance totale de 110 000 kW répartis sur des groupes de 1200 à 27 000 kW.

- [7] LOWRY, H. H.: *Chemistry of Coal Utilisation*. National Research Council Committee, N. Y., 1945.
- [8] K. NEUMANN: *Die Vorgänge im Gasgenerator*. Mitt. Forschungsarb. V.D.J. Heft 140, Berlin, 1913.
- [9] F. W. DOMBROOK: *The Port Washington Plant*. Mechanical Engineering, November 1936.
- [10] *Latest technique for quick starts on large turbines and boilers*. A.S.M.E. Spring Meeting, 1950.
- [11] H. PFENNINGER: *Where gas turbine will fit in future power fields*. Power XI.1946 - I.1947.
- [12] *Cinquante ans de construction de turbines à vapeur Brown Boveri*. Revue Brown Boveri n° 10, octobre 1950.

PRODUCTION ET UTILISATION DU GAZ

par G. PERRET, ingénieur E. P. U. L., chef du Service du gaz, Lausanne

Introduction

La fabrication du gaz en Suisse date du milieu du siècle passé. A cette époque, se constituèrent, dans la plupart des grandes villes, des sociétés privées pour la fabrication et la vente du gaz dit « d'éclairage ». En effet, il s'agissait surtout de remplacer l'éclairage public — assuré par quelques lanternes à huile — par un système nouveau et beaucoup plus efficace, obtenu par la combustion directe du gaz provenant de la distillation de la houille. Outre cette destination, le gaz était également employé pour faire marcher des moteurs. Il ne faut pas oublier que l'eau était alors la seule force disponible et que le moteur électrique n'existait pas encore.

Les débuts de ces sociétés furent toutefois très modestes, l'éclairage au gaz étant considéré comme un

luxue, si bien qu'en dehors de l'éclairage public, d'ailleurs très restreint, l'éclairage privé fut réservé à de rares privilégiés.

Cependant, des progrès importants dans la fabrication des becs d'éclairage (pouvoir éclairant augmenté pour une plus faible consommation) permirent une plus grande vulgarisation de ce mode d'éclairage, si bien que vers la fin du siècle passé, l'éclairage au gaz était généralisé un peu partout. Les sociétés privées furent rachetées par les communes qui préférèrent assurer l'éclairage public par leurs propres moyens. Les anciennes installations de fabrication privées furent remplacées par des usines plus grandes et l'essor du gaz devint considérable. La cuisson au gaz fit alors ses débuts et ne tarda pas à prendre également un grand développement.

La découverte de la lampe à incandescence ralentit le développement de l'éclairage au gaz, celui-ci subsis-