

Congrès sur l'avenir de la technologie des combustibles

organisé à Amsterdam par l'Institute of Fuel du 7 au 10 mai 1963

Compte rendu par INICHAR

Le Congrès, réuni à Amsterdam sous la présidence du Professeur M.W. THRING, a groupé de nombreux spécialistes de divers pays dans le domaine charbon, pétrole, gaz et centrales thermiques. Ce compte rendu constitue un résumé sommaire des divers sujets abordés et plus particulièrement des communications ayant trait à l'avenir des combustibles solides.

1. AVENIR DES CHARBONS DANS LE DOMAINE DE LA COMBUSTION ET DU TRANSFERT DE CHALEUR

11. Evolution générale dans l'utilisation industrielle des combustibles.

Le professeur M.W. THRING commence son exposé en soulignant les deux aspects d'utilisation d'un combustible : le point de vue économique, qui dérive souvent de contingences politiques telles que l'abondance d'un combustible en un point déterminé, les taxes pesant sur un produit importé ou les subsides accordés à un combustible national, et l'aspect technologique qui consiste à améliorer les procédés industriels en vue d'accroître leur rentabilité.

A ce sujet, le professeur Thring met l'accent sur les principes d'évolution d'un nouveau procédé et souligne le fossé qui existe entre le physicien-chimiste et l'ingénieur praticien. Il regrette que ce dernier ne se penche pas un peu plus sur les résultats de la recherche appliquée et sur les principes de base apportés par la recherche fondamentale. Sans contacts entre les deux parties, le progrès ne peut consister qu'en améliorations de détail de procédés industriels existants.

Le conférencier poursuit par un aperçu général des procédés nouveaux et de leurs possibilités d'avenir.

111. Production d'électricité.

A partir des combustibles classiques, huile et charbon, le système thermodynamique actuel est

limité à un rendement de 40 % environ. Deux voies nouvelles permettraient d'augmenter ce rendement.

Il y a tout d'abord la production d'électricité par le système magnéto-hydrodynamique (M.H.D.) qui consiste à brûler le combustible avec de l'air préchauffé et comprimé à 10 atm environ. Les produits de combustion à très haute température sont détendus dans un convergent-divergent pour être accélérés à un nombre de Mach élevé avant de passer dans un champ magnétique.

Si les gaz sont suffisamment conducteurs de l'électricité, il en résulte un courant induit dont le rendement théorique serait de 50 %, si la chute de température des gaz est de 50 % après la tuyère. En pratique, la conductibilité des gaz est faible et, à côté du système M.H.D. qui permet 5 à 10 % de rendement, il faut adjoindre un cycle classique pour utiliser la chaleur restante. Le professeur Thring reste cependant persuadé qu'il serait possible d'obtenir un rendement thermodynamique de 30 % par le générateur M.H.D. Les 20 % complémentaires seraient obtenus par l'utilisation de la chaleur perdue, qui réchaufferait l'air de combustion à 800° C et la vapeur à 500-600° C. Ce cycle pourrait être complété par une turbine à gaz.

Une deuxième possibilité d'augmenter le rendement thermodynamique est offerte par les piles à combustibles. Malheureusement, il est difficile d'envisager à grande échelle la production d'électricité par la voie des piles, car celles qui ont été mises au point actuellement ne fournissent qu'un courant de 100 A sous tension de 1 V.

Si le monde était dépourvu de pétrole, des piles à combustibles opérant sur du charbon ou sur de l'hydrogène et de l'oxygène d'hydrolyse comprimés en bouteilles, seraient susceptibles d'être utilisées sur les véhicules motorisés.

112. Production de vapeur.

Dans le développement des chaudières à tubes d'eau, le professeur Thring estime que les améliorations devraient porter sur deux points :

Il faut tout d'abord étudier des fluides autres que l'eau. A pression égale, le mercure est déjà préférable grâce à son point d'ébullition beaucoup plus élevé.

Le deuxième point consiste à concevoir plusieurs chambres de combustion ayant chacune leur brûleur. Cette solution aurait comme premier avantage d'avoir un grand rapport surface-volume pour permettre le bon refroidissement des gaz et en second lieu de permettre la fabrication du brûleur, de la chambre de combustion et de la paroi refroidissante réalisant le courant aérodynamique idéal, qui assurerait la stabilité et la haute intensité de la combustion.

113. Chauffage des fours.

Si le haut fourneau a subi des améliorations importantes et s'il constitue une unité thermodynamique hautement rentable, il n'en reste pas moins tributaire d'un combustible coûteux : le coke. Pour le professeur Thring, le procédé d'avenir doit se baser sur les points suivants :

- retenir le caractère à contre-courant du haut fourneau,
- fondre le fer, scorifier les impuretés et éliminer une certaine quantité de soufre,
- employer un combustible peu coûteux tel que du charbon cru ou de l'huile. L'Université de Sheffield suit cette voie à une petite échelle pilote.

Quant aux fours d'aciéries, que ce soit le four Martin, le four à arc ou le convertisseur, la recherche devrait se poursuivre vers des procédés continus avec, si possible, échange de chaleur à contre-courant.

114. Avenir du charbon.

Dans l'état actuel de la technologie des combustibles, le gaz est le plus avantageux car il ne requiert qu'un brûleur adéquat et un système de distribution par conduite. L'huile vient en second lieu car, en plus du brûleur et du système de distribution, elle demande des citernes de stockage et des pompes. Le charbon est le moins avantageux par suite des difficultés de manutention qu'il présente et des cendres qu'il laisse après combustion.

Le professeur Thring estime que le charbon peut entrer en compétition à condition de compenser ses inconvénients par des différences de prix par unité de chaleur. Le meilleur moyen serait de pratiquer une politique d'évolution technologique très progressiste : manutention mécanique, élimination complète des poussières à l'extérieur des installations, absence de fumées à la combustion et souplesse raisonnable dans la fourniture de chaleur.

12. Recherches sur les flammes à IJmuiden.

L'Institut International de Recherches à IJmuiden étudie plus particulièrement les flammes des combustibles liquides et solides pulvérisés, tandis que depuis 1960 le Gaz de France se spécialise dans l'étude des flammes de gaz naturel.

Le professeur J.E. de GRAAF donne un compte rendu des travaux effectués depuis 15 ans à l'Institut.

121. Flammes d'huile.

Dans le cas des brûleurs à combustibles liquides atomisés par agents gazeux, les résultats essentiels peuvent se résumer comme suit.

Le pouvoir émissif de la flamme augmente avec la distance au brûleur, passe par un maximum et diminue à une valeur qui est celle due aux radiations de la vapeur d'eau et de l'anhydride carbonique; il augmente avec le rapport C/H du combustible, lequel influence le taux de formation des suies dans la flamme.

Le rayonnement dépend du flux d'impulsion du jet de combustible et de l'agent de pulvérisation (air ou vapeur). L'air donne une intensité de combustion plus élevée en début de flamme surtout s'il est préchauffé. Grâce aux hautes températures réalisées auprès du brûleur, la formation des suies et leur taux de combustion sont augmentés.

L'excès d'air diminue le pouvoir émissif de la flamme, mais l'introduction d'un jet d'oxygène parallèle au jet de combustible enrichit l'air de combustion, augmente la température de flamme et élève ainsi de 30-35 % la radiation de la flamme. L'influence de la distance de ce jet au brûleur est très importante.

Dans les brûleurs à huile sous pression pulvérisée sans intervention d'agent gazeux, les principaux facteurs agissant sur les caractéristiques des flammes se résument comme suit :

- la vitesse de l'air a un effet considérable sur la forme et la stabilité de la flamme;
- une augmentation de la pression d'huile de 7,5 à 70 kg/cm² ne modifie les propriétés de la flamme que si la vitesse d'air est faible;

— le placement d'un disque stabilisateur annulaire séparant le jet d'air du jet d'huile conduit à déplacer le front de la flamme vers le brûleur et à améliorer ainsi la stabilité et le rayonnement de la flamme. Ces résultats sont également obtenus grâce au mouvement de rotation de l'air provoqué par une addition d'air introduit tangentiellement.

122. Flamme de charbon pulvérisé.

Entre 1956 et 1960, des essais ont été effectués sur des charbons anthraciteux et bitumineux. Les variables principales étudiées furent : les vitesses d'air primaire et secondaire, le rapport entre les taux d'air primaire et secondaire et les caractéristiques des combustibles.

Avec les charbons gras, la combustion des matières volatiles donne une réaction homogène parallèle à la réaction hétérogène de combustion du résidu solide. Il en résulte une flamme plus courte dont la température et le pouvoir émissif sont plus élevés que ceux qui sont obtenus avec les charbons anthraciteux.

Une forte quantité d'air primaire refroidit la flamme et la rend moins radiante. Ce défaut peut se corriger par le préchauffage de l'air primaire.

La vitesse de l'air primaire n'a aucune influence sur les caractéristiques des flammes.

La finesse du charbon a un effet marqué sur la flamme. Le front de cette dernière est proche du brûleur et elle est plus courte, plus radiante et plus chaude lorsque la granulométrie du charbon anthraciteux utilisé diminue.

2. L'AVENIR DES COMBUSTIBLES DU POINT DE VUE PRODUCTION DE VAPEUR ET D'ELECTRICITE

Les exposés ont trait à l'évolution technologique des chaudières, des turbines à gaz et des piles à combustibles.

21. Utilisation des combustibles en chaudières.

La communication de MM. D. HICKS et G.G. THURLOW est consacrée à la chaudière Shell. Ce type de chaudière a actuellement un rendement thermique de 80 % et son prix est 40 % plus faible que celui des chaudières à tube d'eau. Elle a comme avantage de former avec ses auxiliaires une unité compacte facilement transportable.

Le combustible intervenant pour 70 à 90 % du prix de revient de la chaudière, les conférenciers soulignent la nécessité de rechercher à augmenter le rendement en même temps qu'à réduire les investissements et à augmenter la sécurité et le haut degré d'automatisation.

Les différents points à étudier plus particulièrement sont :

- les tensions dans la chaudière et plus spécialement la distribution du flux de chaleur et les conditions de températures;
- l'élimination du soufre des combustibles;
- le comportement des flammes et particulièrement le conditionnement des combustibles solides du point de vue finesse et scorification des cendres.

Le Dr.-Ing. O. SCHWARZ consacre sa conférence aux chaudières à tubes d'eau.

Depuis 60 ans, de grands perfectionnements ont été apportés à ce type de chaudière : accroissement du rendement thermique et de la capacité de production électrique par l'augmentation de la pression et de la température, le remplacement du charbon maigre par du charbon gras pauvre, la chimie de l'eau, etc...

Actuellement, les grosses centrales électriques sont équipées pour marcher avec l'un ou l'autre combustible. C'est donc surtout le prix de ce dernier qui joue un rôle déterminant; comme ce prix est fonction des coûts de production et de transport, le choix des utilisateurs s'est généralement porté sur les combustibles indigènes produits relativement près des centrales.

Les prévisions d'avenir indiquent que le prix du charbon augmentera de 10 % jusqu'en 1975, en raison d'un accroissement des salaires plus rapide que l'accroissement de productivité. Le coût du charbon serait alors de 16,5 \$/t au lieu de 15 \$/t. Or le charbon américain arriverait à 13,5 \$/t à Rotterdam et à 14 \$/t aux ports méditerranéens, tandis que les combustibles liquides importés coûteraient 17-19 \$/t aux ports anglais. Comme il semble impossible que ces derniers continuent à être disponibles à des prix de dumping, on doit s'attendre en 1975 à ce qu'il y ait toujours une grande place réservée aux combustibles traditionnels.

L'accroissement de la demande d'énergie électrique est telle que les centrales thermiques se maintiendront encore très longtemps et que l'énergie nucléaire sera plutôt nécessaire que concurrente pour satisfaire les demandes d'électricité.

Du point de vue technique, il semble que l'évolution des fours à huile et à gaz soit terminée. Il en est autrement pour le charbon, où deux voies nouvelles ont déjà été expérimentées : l'extraction et le transport hydraulique du fond à la surface et le transport du charbon à la surface par pipelines. La conséquence logique serait d'alimenter les centrales par des combustibles solides pouvant être pompés et brûlés sans traitement intermédiaire tout comme les huiles.

Le Dr Schwarz imagine que la production entière de la mine : calibrés, grains et fines, pourrait

être broyée à une dimension adéquate pour la combustion et mélangée avec de l'eau afin d'obtenir une suspension eau-charbon de composition voulue.

Le charbon arriverait en surface dans des citernes de stockage. De là, il serait pompé et alimenterait les différents brûleurs. Des tests de pulvérisation et de combustion ont montré qu'il était possible d'alimenter une chaudière suivant ce schéma. Le seul inconvénient de la suspension est de réduire le rendement thermique de 4 %. Ses avantages sont nombreux : extraction plus simple et moins chère, économies dans la préparation du charbon, transbordement et séchage nuls, réduction des investissements de la chaudière elle-même car les silos et le broyage deviennent superflus, réduction appréciable du diamètre des pipelines puisque le nouveau schéma permettrait le transport de 600 kg/m³ au lieu de 600 g dans le cas de mélange charbon/air, système de contrôle et d'alimentation d'air plus simple similaire à celui utilisé pour les combustibles liquides et gazeux, réduction des salaires et de l'entretien.

Le succès de cette évolution serait conditionné par la construction de brûleurs s'adaptant aux chaudières existantes.

22. Les piles à combustibles.

L'exposé de M. A.D.S. TANTRAM décrit les différents types de piles, fait apparaître les limitations de ces appareils et indique les recherches à réaliser dans ce domaine.

Les piles à hydrogène et oxygène purs utilisent l'hydroxyde de potassium comme électrolyte et ne sont pas utilisables avec des gaz contenant du CO₂, car les carbonates et bicarbonates formés entraînent l'augmentation de la polarisation et le vieillissement des électrodes poreuses par dépôt de bicarbonate cristallisé. Ces piles sont technologiquement les plus évoluées mais sont coûteuses et ont comme inconvénient le stockage et le transport des combustibles.

Pour que ces piles puissent sortir du cadre des applications particulières, il faudrait qu'elles fonctionnent à l'air et avec de l'hydrogène impur. Les recherches s'effectuent, soit vers l'utilisation d'acides électrolytiques non affectés par le CO₂, soit vers une méthode de purification d'hydrogène acceptable. La première direction a été explorée par le General Electric qui commence à mettre au point une pile à membrane d'échange cationique. La deuxième voie est peu explorée : pour purifier l'hydrogène, elle fait appel à la chaleur perdue des piles. La purification sur tamis moléculaire est très prometteuse.

Parmi les piles à combustible carbonacé, les piles à oxygène de hautes températures sont les plus importantes. Elles ont une cathode d'oxygène,

un électrolyte oxydé ionique et une anode de combustible. Ce dernier doit réagir rapidement avec l'oxygène à des pressions partielles très faibles ou sinon il y a polarisation appréciable à l'anode.

Pour que la conductivité soit adéquate, il faut que la température de l'oxyde soit élevée, ce qui entraîne la décomposition du combustible et le dépôt de carbone; il en résulte un mauvais rendement d'utilisation du combustible et le blocage de la pile.

Les divers remèdes utilisés pour éviter cette décomposition sont :

- utiliser des catalyseurs;
- procéder à température assez faible pour réduire la vitesse de décomposition; exemple : l'électrode de Ni utilisée à 400° C avec des carbonates comme électrolyte;
- brûler le carbone ou le regazéifier;
- utiliser des mélanges d'hydrocarbure et de vapeur d'eau. Dans ce cas, le mélange est soit transformé dans une chambre catalytique précédant la pile, la chaleur étant fournie par cette dernière, soit introduit directement dans la pile avec comme conséquence une perte de voltage due à la forte concentration de vapeur.

Les piles à faible température procèdent suivant un schéma très compliqué. Les combustibles sont oxydés électrochimiquement en CO₂ à des vitesses appréciables mais à des voltages tellement faibles que le rendement est extrêmement bas; parmi ces combustibles, c'est le méthanol qui peut être utilisé avec le plus de succès.

En conclusion, les prix de certains combustibles limitent les piles à des applications assez spéciales. Le méthanol peut être transformé à températures faibles de 200 à 300° C et avec un haut rendement de conversion en hydrogène. Il est particulièrement intéressant pour les piles à hydrogène pur et est d'un emploi plus facile que d'autres hydrocarbures moins chers. Il peut être également utilisé dans les piles à hautes températures à condition de lui ajouter un peu de vapeur d'eau pour inhiber le dépôt de carbone. Les piles sont encombrantes, mais dans des régions peu développées elles pourraient constituer un groupe de puissance autonome indépendant des coûts de distribution élevés, lorsque la région offre des ressources locales en combustibles appropriés.

3. L'AVENIR DES COMBUSTIBLES DANS LES FOURS

L'utilisation des combustibles solides dans les fours fait l'objet de la communication de M. LOISON.

Le haut fourneau est et reste le principal consommateur de combustible solide. En France, la quantité de coke qu'il absorbait en 1961 représen-

taît 21 % de la consommation totale des combustibles solides. A la même époque, les autres fours ne prenaient que 8 % de cette consommation dont plus de la moitié était absorbée par l'industrie des matériaux de construction et plus particulièrement par la cimenterie, tandis que le four Martin n'en prélevait que 20 % pour ses approvisionnements en gaz.

Dans les usines sidérurgiques, la technologie du haut fourneau évolue rapidement. Les améliorations consistent à préparer la charge de minerai, à augmenter la température du haut fourneau, à pratiquer les injections de gaz, d'huile ou de charbon aux tuyères et, dans certains cas, à suroxygéner le vent, à réaliser une contre-pression dans le haut fourneau et à augmenter les dimensions de ce dernier.

Cette évolution conduit à trois résultats importants :

- Diminution de la mise au mille; il est prévu que cette dernière sera de 600 à 700 kg/t en 1975.
- Evolution des caractéristiques des cokes : la granulométrie serait plus faible, la cohésion tendrait à diminuer tandis que la résistance à l'abrasion serait maintenue. La modification de ces critères nécessiterait l'introduction de nouveaux tests et accroîtrait l'importance des techniques de pilonnage et d'enfournement à sec dans les cokeries, avec extension de l'utilisation de charbons de haut rang.
- Développement de nouveaux débouchés pour les combustibles solides avec l'extension de l'agglomération des minerais et l'injection de charbon dans les tuyères des hauts fourneaux. Dans l'agglomération des minerais, l'utilisation de semi-coke de fluidisation semble constituer une solution intéressante car il donne à la charge une perméabilité bien supérieure à celle du coke broyé, grâce à sa distribution granulométrique et à sa très faible densité.

Dans d'autres fours, le charbon est concurrencé par les gaz et les huiles. Son avenir dépendrait dans une large mesure de la tendance des prix. Certains progrès techniques pourraient contribuer à maintenir sa position, notamment l'amélioration de la qualité et de la régularité de distribution dans les fours à ciment.

4. L'AVENIR DES COMBUSTIBLES DANS LE DOMAINE DOMESTIQUE

L'exposé de M. KARDAUN est consacré à la fabrication de combustibles domestiques pour foyers continus.

Dans les pays de l'O.E.C.E., la production annuelle d'anthracite et de charbon maigre a été pendant de nombreuses années voisine de 20 millions de tonnes; elle diminue progressivement,

tandis que la consommation totale pour les appareils domestiques et l'artisanat reste voisine de 40 millions de tonnes par an. Il semble que les besoins domestiques devront être couverts à court et à moyen terme par une part croissante de bons combustibles solides synthétiques, d'autant plus que des enquêtes hollandaises ont montré une reprise des ventes de foyers à charbon : les ventes des foyers à mazout représentaient 32 % en 1957/1958, mais en 1960/1961, les foyers à charbon reprenaient le terrain perdu et arrivaient à 88 % des ventes totales d'appareils de chauffage.

Diverses voies peuvent être envisagées pour la fabrication de combustibles artificiels :

A partir de fines maigres, il y a trois possibilités :

- agglomération sans liant ou avec liant non fumeux,
- agglomération avec un liant fumeux demandant un traitement ultérieur du boulet,
- agglomération avec un autre charbon comme liant.

A partir de charbons gras, on peut distinguer les procédés suivants :

- carbonisation d'une partie du charbon et agglomération du semi-coke avec l'autre partie du charbon comme liant,
- carbonisation de fines grasses similaire à la méthode de production de coke,
- agglomération du charbon gras et carbonisation des boulets,
- carbonisation à basse température de noix de charbon peu cokéfiant,
- oxydation de noix de charbon gras suivie de la carbonisation.

Les procédés qui partent des charbons gras sont sensiblement plus coûteux par suite du rendement solide inférieur à 100 %; de plus les deux dernières méthodes donnent un combustible convenant plus particulièrement pour les foyers ouverts.

Les deux voies qui sont suivies aux Pays-Bas sont l'oxydation des boulets au brai et l'agglomération à chaud de fines maigres additionnées de charbon gras.

En raison de la semaine de 5 jours et de la nécessité qu'il y aurait, pour un procédé continu, à stocker de fortes quantités de charbon ou de boulets, le défumage oxydant est réalisé en discontinu dans 6 unités. La capacité de l'installation des Staatsmijnen est de 200.000 tonnes/an.

L'agglomération à chaud a été expérimentée sur un mélange de 70 à 80 % de fines maigres et de 20 à 30 % de fines bitumineuses. Une usine pilote de 100 t/jour a fonctionné durant un certain temps. Le produit obtenu était solide, ne fumait pas et avait de bonnes propriétés de combustion. M. Kardaun estime que la production de combustibles domestiques suivant ce procédé est une des voies qui présente le plus d'avenir.