

Journées de la combustion des combustibles solides et pulvérisés

PARIS, 4-7 décembre 1957

Voorwoord.

Het « Institut français des Combustibles et de l'Energie » organiseerde internationale studiedagen gewijd aan de verbranding van vaste en verpulverde brandstoffen.

Het Beschermtcomité bestond uit talrijke franse en buitenlandse personaliteiten. Het Inrichtend Comité werd voorgezeten door Professor Marcel VERON.

De mededelingen waren gegroepeerd onder de volgende rubrieken :

- I. — Kolenverwerking.
- II. — Karakteristieken van de kolen in verband met de verbranding.
- III. — Het verbrandingsmechanisme van vaste en verpulverde brandstoffen.
- IV. — De verbruikstoestellen.
- V. — Controle, leiding, proeven, corrosie.

Talrijke belgische afgevaardigden volgden de werkzaamheden. Wij noteerden de aanwezigheid van de HH. Bédoué, Berger, Burnay, Danze, Decelle, Delsemme, Delvaux, Ghion, Godfroid, Longly, Lorneau, Nottet, Ponomarenko, Renard, Stepotieff, Venter, Vercruysse, Wilwertz.

Verscheidene onder hen kwamen nadien te Brussel bijeen en besloten een gemeenschappelijk bondig verslag van de studiedagen op te maken. Ieder van hen gelastte zich met het samenvatten en eventueel commenteren van de mededelingen die hen in het bijzonder aanbelangden.

Aan dit redactiecomité hebben hun medewerking verleend

de HH. G. BURNAY,	Professor aan de Rijksuniversiteit Luik.
J. DANZE,	Professor aan de Rijksuniversiteit Luik.
L. DELVAUX,	Werkleider aan de Rijksuniversiteit Luik.
J. GODFROID,	Directeur van de afdeling Productie van de Société de Gaz et d'Electricité Hainaut-Liège.
J. LORNEAU,	Directeur Generaal van de N.V. « Stein et Roubaix ».
L. NOTTET,	Hoofdingenieur bij de U.C.E. Linalux.
J. PONOMARENKO,	Directeur van de bovengrondse werken van de Steenkolenmijn Zwartberg.
J. RENARD,	Dienstoverste Cedocos.
C. WILWERTZ,	Hoofdingenieur bij de Belgische Intercommunale Maatschappij voor Electriciteitsvoorziening.

Wij geven hierna verslagen. De volledige teksten, samen met de besprekingen, zullen door de organisatoren in oktober gepubliceerd worden.

Avant-Propos.

L'Institut français des Combustibles et de l'Energie a organisé des Journées internationales relatives à la combustion des combustibles solides et pulvérisés. Les séances techniques ont eu lieu à la salle de la Fédération Nationale du Bâtiment, 7, rue de la Pérouse, à Paris du 4 au 7 décembre 1957.

Le Comité de Patronage comportait de nombreuses personnalités françaises et étrangères. Le Comité d'Organisation était présidé par Mr le Professeur Marcel VERON.

Les communications étaient classées dans différents chapitres intitulés :

- I. — La préparation des charbons.
- II. — Caractéristiques des charbons concernant la combustion.
- III. — Le mécanisme de la combustion des charbons solides et pulvérisés.
- IV. — Les matériels d'utilisation.
- V. — Contrôle, conduite, essais, corrosion.

De nombreux délégués belges ont suivi les travaux. Nous avons noté la présence de MM. Béduvé, Berger, Burnay, Danze, Decelle, Delsemme, Delvaux, Ghion, Godfroid, Longly, Lorneau, Nottet, Ponomarenko, Renard, Stepotieff, Venter, Vercruysse, Wilwertz.

Plusieurs se sont ensuite réunis à Bruxelles et ont décidé d'établir en commun un bref compte rendu des Journées. Chacun s'est chargé de résumer et éventuellement de commenter les communications qui l'ont particulièrement intéressé. Ont participé à ce Comité de Rédaction :

MM. G. BURNAY,	Professeur à l'Université de Liège.
J. DANZE,	Professeur à l'Université de Liège.
L. DELVAUX,	Chef de Travaux à l'Université de Liège.
J. GODFROID,	Directeur du Département Production, Société de Gaz et d'Electricité Hainaut-Liège.
J. LORNEAU,	Directeur Général de la S.A. Stein et Roubaix.
L. NOTTET,	Ingénieur en Chef à l'U.C.E., Linalux.
J. PONOMARENKO,	Directeur des travaux de surface aux Charbonnages de et à Zwartberg.
J. RENARD,	Chef de Service, Cedocos.
C. WILWERTZ,	Ingénieur en Chef à la Société Intercommunale Belge d'Electricité.

Nous donnons ci-après les textes établis. L'indice est rappelé à côté du titre du rapport. Les textes complets avec discussion seront publiés en octobre par les organisateurs.

LE LAVAGE ET LA PREPARATION DES CHARBONS (1.01) (1)

R.A. Huchet

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.
(Houillères du Bassin du Nord et du Pas de Calais).

Le rapporteur rappelle que la préparation du charbon a été rendue nécessaire en raison de la dégradation progressive de la qualité du brut extrait de la mine et des exigences toujours accrues de la clientèle à la recherche du meilleur rendement des appareils de chauffe et d'un confort sans cesse amélioré.

Il passe en revue les différentes phases de la préparation : calibrage, séchage et lavage et signale l'intérêt, du point de vue commercial, de la sélection des couches, des mélanges et du concassage après préparation.

1. Calibrage et dépoussiérage.

a) Avant lavage, pour n'introduire dans les appareils de traitement que des éléments aux dimensions acceptables par le procédé mis en œuvre.

b) Après lavage, pour offrir à la clientèle un classé, sans fines particules, apte à réaliser le rendement optimum dans les appareils de chauffage.

A ce point de vue les services techniques des charbonnages admettent que les pourcentages de déclassés dans les charbons à la sortie du dernier crible de reclassement ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes :

Désignation	Calibres	Déclassés inférieurs %	Hors calibre supérieur %
Fines	0 - 6	—	5
Grains	6 - 10	8	4
Braïettes	10 - 20	6	3
Noisettes	20 - 30	4	2
Noix	30 - 50	3	2
Gaïlletins	50 - 80	2	3

2. Séchage.

En réalité il s'agit plutôt du procédé consistant, notamment pour les fines de moins de 6 mm, à égoutter et essorer les charbons pour en réduire

(1) Résumé établi par L. Nottet.

l'humidité superficielle aux teneurs exigées par les techniques d'utilisation, le séchage thermique étant pratiquement réservé aux schlamms qui jusqu'à présent ne se prêtent pas à un assèchement suffisant par des moyens mécaniques.

3. Lavage.

Notions théoriques.

La note rappelle succinctement les différentes notions caractéristiques des charbons à laver.

Relations densimétriques : donnant naissance aux courbes de lavabilité bien connues.

Courbe de Partage : éclairant l'exploitant sur la répartition des grains entre le flottant et le plongeant suivant leur densité et donnant naissance aux notions de « densité de partage » (d_p) (densité de la tranche du brut qui se sépare moitié dans le plongeant, moitié dans le flottant) et d'« écart de Terra » ou « écart probable » (E_p) (différence de densité entre les tranches qui se séparent respectivement à raison de 25 % et de 50 %).

Imperfection : coefficient qui permet de classer les appareils de lavage et qui est lié aux deux notions précédentes par la relation

$$I = \frac{E_p}{d_p - 1}$$

indépendante du charbon traité. L'ordre de grandeur de ce coefficient, pour des appareils correctement réglés, est donné, dans le rapport, par les chiffres ci-dessous :

Flottation : 0,30 à 0,35

Rhéolaveurs : 0,25

Tables pneumatiques : 0,20

Bacs à fines : 0,15 à 0,20

Bacs à grains : 0,10 à 0,15

Bacs à liquides denses : 0,03 à 0,06

Cyclones à fines : environ 0,05.

Réalisations techniques.

Indépendamment de la flottation, il y a surtout lieu de retenir les développements considérables pris par les bacs à pistons ou à air comprimé et les bacs à liquide dense dont les principes de fonctionnement sont décrits et dont le réglage doit être conduit de manière à satisfaire à la fois aux exigences de l'usager des charbons lavés et au souci de n'envoyer à terril que des déchets à valeur d'usage nulle.

En l'occurrence, les charbons à usage domestique exigent que la coupure se fasse à une densité telle que la teneur marginale en cendres ne dépasse pas une valeur relativement basse ; les charbons à usage industriel s'accommodent d'une coupure à la densité donnant un flottant de teneur moyenne en cendres déterminé.

Entre des charbons lavés dans ces conditions et des schistes définis par une valeur d'usage nulle, les mixtes constitueront le sous-produit de récupération.

Sélection-Mélange et Concassage.

Ces processus, qui n'ont pas de rapport avec le lavage proprement dit, constituent néanmoins des opérations de préparation des combustibles et ne suscitent guère de commentaire.

Le rapporteur conclut que les techniques actuelles sont fort proches de la perfection et qu'en tout état de cause, le souci du prix de revient minimum doit l'emporter sur celui d'affiner les méthodes de lavage au delà des limites déjà très poussées.

EVOLUTION PROBABLE DES DISPONIBILITES CHARBONNIERES PAR CATEGORIES DE COMBUSTIBLES (1.02) (1)

J. Moinard

Ingénieur Civil des Mines.
(Charbonnages de France).

Les Charbonnages de France, préoccupés de mettre à la disposition des utilisateurs, les charbons les mieux adaptés aux exigences particulières des techniques d'utilisation, étudient l'évolution des qualités et quantités de la production des Houillères Nationales et celle des besoins des usagers.

Evolution de la production.

Le plan Monnet a fixé naguère l'objectif de la production annuelle à 62 millions de tonnes. Les

accroissements nécessaires pour réaliser cet objectif doivent être acquis dans tous les bassins avec, comme corollaire, une production accrue de flam-bants secs (Lorraine) et de maigres ou anthracites (les autres bassins). Les programmes des engins de préparation font par ailleurs prévoir une diminution de la production des pulvérulents par suite de l'humidification des travaux du fond, des mixtes par amélioration de la coupure au lavoir et des schlamms par généralisation de la flottation et une augmentation de la production des fines lavées humides. Les grains classés doivent présenter plus de

(1) Résumé établi par L. Nottet.

régularité dans leur granulométrie et leur teneur en cendres.

Evolution de la demande.

Les secteurs en forte expansion de la sidérurgie et de l'électricité exercent une tension sur le marché des charbons à coke et des fines à vapeur.

Les autres secteurs industriels paraissent en état d'équilibrer en raison de l'appel fait de plus en plus, pour suivre les besoins de l'expansion, aux combustibles liquides et gazeux.

Le secteur domestique, en expansion lui aussi, fait de plus en plus appel aux grains maigres utilisés dans des foyers automatiques ou semi-automatiques.

Recherche de l'équilibre.

Le rapporteur admet que le secteur électrique ne pourra pas être approvisionné en totalité par les

Houillères Nationales et que se pose pour lui la question du choix des combustibles d'appoint : solides ou liquides.

Les besoins croissants de la cokéfaction pourront être suivis grâce aux possibilités offertes par les techniques de préparation applicables aux charbons lorrains, mais il subsistera, dans ce secteur également, des déficits croissants.

Enfin pour le secteur domestique, le rapporteur qui y consacre des développements plus longs en raison de l'importance du problème en France, signale l'appoint appréciable, apporté par les anthracites artificiels, à l'insuffisance des classés maigres naturels ; les larges possibilités offertes par les flambants secs, moyennant des efforts d'adaptation à réaliser par les constructeurs de matériel, et enfin les problèmes économiques que pose l'utilisation des boulets maigres dont la matière première, les fines lavées, est de plus en plus réclamée par les centrales électriques.

DESIDERATA DES CONSTRUCTEURS ET DES USAGERS DES MATERIELS (1.03) (1)

P. Bertrand, Ingénieur des Arts et Manufactures, en collaboration avec MM. Rabet et Mas

(Syndicat des Constructeurs-Installateurs de matériel thermique).

Préoccupés de mettre à la disposition des consommateurs de charbon domestique du matériel thermique à rendement aussi élevé que possible, les rapporteurs passent en revue les différentes caractéristiques des charbons qui influencent les techniques des engins de chauffage.

Ils attirent l'attention sur :

1. *La granulométrie* qui doit rester dans des limites raisonnables, sous peine d'entraîner des difficultés d'alimentation du foyer, des combustions incomplètes, des pertes dans les cendriers, voire même la pollution de l'atmosphère en cas d'excès de fines poussières.

2. *L'indice de gonflement*, paramètre important qui permet de fixer d'une façon précise la frontière à partir de laquelle les engins de chauffage doivent être spécialement adaptés.

3. *La teneur en matières volatiles*. — Dans le cas d'utilisation de charbon à pouvoir agglutinant appréciable ou fort, la teneur en matières volatiles ne pose guère d'autres problèmes que celui de la fixation des réglages de l'air secondaire, encore qu'une teneur minimum soit requise pour la bonne tenue du feu.

La teneur en matières volatiles doit cependant être connue avec suffisamment de précision, si on

veut utiliser rationnellement les appareils conçus pour brûler des charbons maigres et qui n'ont en général pas de dispositif d'introduction d'air secondaire, indispensable lorsque la teneur dépasse une certaine limite.

4. *La teneur en cendres* qui, ne peut pas, pour des raisons évidentes, monter à des taux prohibitifs, malgré la faculté d'accommodation du matériel actuellement proposé.

5. *Le point de fusibilité des cendres* qui doit rester entre les limites assignées par le mode d'évacuation des cendres : mâchefer isolé du combustible ou cendres pulvérulentes.

6. *L'humidité* qui fait baisser le rendement des engins et accélère leur destruction par oxydation.

En fonction de ces données, qui ont leurs répercussions sur le choix des matériels, leur rendement et sur leur coût d'utilisation, les constructeurs de matériel devraient connaître avec précision, les perspectives du marché des charbons, sous le rapport des qualités, des quantités et des prix.

La fixation de normes précises et durables pour les différentes caractéristiques des charbons mentionnées plus haut et leur respect par les producteurs et le négoce ouvriraient la voie de la rationalisation des matériels en vue d'augmenter leur rendement et d'en faciliter l'emploi.

(1) Résumé établi par L. Nottet.

Les rapporteurs émettent le souhait qu'en certains cas on puisse y ajouter l'indication de la provenance du bassin ou du puits.

Ils admettraient des variations du prix des charbons en fonction des écarts par rapport aux normes adoptées, pour encourager la production de combustibles ayant des caractéristiques aussi constantes que possible et adaptées au matériel choisi.

Commentaires.

Il est certain que de gros efforts restent à faire pour accroître la productivité des engins de chauffage et qu'ils seraient vains s'il n'y avait pas, entre constructeurs de matériels et producteurs ou négoc-

iants de charbons, une collaboration étroite et agissante. Ceux-ci se sont engagés dans cette voie en créant le Ceduc en France et Cedocos en Belgique.

On peut souhaiter, avec les rapporteurs, que les recommandations que seront amenés à faire ces organismes régulièrement en contact avec les consommateurs soient entendues par les fournisseurs du charbon : la tâche de ces derniers n'est cependant pas aussi simple qu'il paraît, en raison de l'extrême variété des couches déhouillées. Mais la concurrence des combustibles liquides et gazeux à usage domestique leur impose des efforts redoublés, s'ils veulent maintenir au charbon ses positions actuelles.

APPLICATION DES TESTS DE LABORATOIRE A LA SELECTION DES CHARBONS DE CHAUFFAGE (2.01) (1)

M. Dumoutet,

Ingénieur des A.M.,

Chef du Groupe de recherches de la Combustion au Cerchar.

Les techniques actuelles de combustion dans le domaine du chauffage domestique tendent à élargir le plus possible l'éventail des qualités de charbons utilisables, de façon à permettre aux ressources nationales de couvrir les besoins.

La variété des types de foyers soulève des problèmes de sélection.

L'auteur examine deux catégories de phénomènes jouant un rôle important dans la sélection des charbons : le phénomène de pyrolyse précédant et accompagnant l'inflammation et le comportement des matières minérales à la chaleur.

Comportement du charbon à l'échauffement.

Sous l'action de la chaleur, le charbon subit une série de transformations : dégagement des matières volatiles et fusion plastique.

Il est à remarquer que les foyers s'accommodent de façons très différentes des matières volatiles, suivant que l'on a affaire à une combustion en couche épaisse, en couche mince ou à front d'inflammation rétrogradant.

Les propriétés plastiques se présentent sous différents aspects, fonction de la nature des charbons, et les foyers s'en accommodent suivant leurs types.

L'agglomération des cendres sous l'effet de la chaleur peut se présenter sous une agglutination légère et très friable, en une masse poreuse ou en masse compacte et peu perméable à l'air.

En fonction du type de foyer, il faut donc déterminer les propriétés plastiques.

L'essai le plus couramment utilisé en France est l'indice de gonflement au creuset (norme M 03.004) qui traduit l'aptitude au gonflement d'une masse de charbon pulvérulent, mais ne donne pas le pouvoir agglutinant du charbon.

On peut utiliser pour ce dernier, l'indice à l'agglutination Roga, retenu par la Commission Internationale de Classification.

Le comportement des matières minérales au cours de la combustion représente un autre facteur important de la marche des foyers. Certains nécessitent une cendre pulvérulente, d'autres s'accommodent très bien d'une fusion partielle ou même totale.

Le principal test utilisé est l'essai de fusibilité, essai beaucoup exécuté mais qui ne peut être considéré comme repère valable que si les charbons à comparer présentent des similitudes de nature.

Pour des charbons de provenances diverses brûlés dans les mêmes conditions de granulométrie et d'allure, les niveaux thermiques sont différents de l'un à l'autre et liés aux propriétés réactionnelles de la matière organique.

(1) Résumé établi par L. Nottet.

DEUX CARACTERISTIQUES IMPORTANTES DU COMBUSTIBLE POUR UN CONSTRUCTEUR DE CHAUDIERES : LA FRIABILITE — LA FUSIBILITE DES CENDRES (2.02) (1)

A. Hassard,

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

et

G. Quesnel,

Ingénieur E.B.P.

Les auteurs rappellent que le constructeur des chaudières doit étudier celles-ci en fonction du combustible. A ce sujet, le laboratoire lui fournit une série de données que l'ingénieur devra interpréter judicieusement.

Deux caractéristiques jouent un rôle important : la friabilité du charbon et la fusibilité des cendres.

La *friabilité* est un indice d'aptitude au broyage d'un produit. Sa détermination n'est pas toujours facile et peut prêter à contestation.

Les méthodes de détermination ont en général pour point de départ la méthode Hardgrove et celle du broyeur à boulets.

a) La *méthode Hardgrove* utilise un petit broyeur vertical. On y traite 50 g de charbon calibré et, après 60 révolutions, le charbon obtenu est passé aux tamis standards. La friabilité se détermine par comparaison avec celle d'un charbon étalon de friabilité 100.

La méthode Astm qui en découle permet l'application de la formule

$$L = 13 + 6,93 W$$

où W représente la fraction de charbon passé au tamis 200 Tyler.

La formule devrait concorder avec les résultats techniques. Cependant des écarts existent, dus principalement :

1. à la granulométrie initiale de l'échantillon dont les grains sont compris entre 589 et 1168 microns ;
2. aux variations du broyeur Hardgrove ; usure des billes ;
3. à l'usure des tamis entraînant la distension et l'écartement des fils, d'où agrandissement des mailles ;

4. à l'appareil de tamisage « Ro-Tap » dont le mouvement de rotation des tamis varie en fonction du serrage du couvercle ;

5. aux erreurs accidentelles provenant des pesées et du nettoyage et colmatage des tamis.

Tous ces facteurs imposent un réétalonnage périodique au moyen du charbon étalon de friabilité 100 et des corrections de la formule en conséquence.

On constate cependant que la détermination de la friabilité Hardgrove n'est pas suffisamment précise pour les charbons cendreux.

b) La *méthode du broyeur à boulets* semble donner des résultats plus approchés de la pratique. L'échantillon introduit est compris entre 74 et 1680 microns et la mouture est poussée jusqu'à ce qu'on obtienne un refus de 20 % au tamis 200.

Fusibilité des cendres.

Le point de fusion des cendres est à prendre très au sérieux lors de l'étude d'une chambre de combustion. Une erreur dans l'étude du combustible et de la conception du foyer entraîne parfois des conséquences désastreuses.

La plupart des pays ont fait choix d'une méthode d'essais physiques consistant dans l'observation du comportement, à une température et dans une atmosphère donnée, d'une montre de cendre moulée.

Les auteurs citent les deux méthodes françaises normalisées et ensuite la méthode allemande DIN 51730, dite du « microscope de chauffe ». Celle-ci permet d'examiner et photographier au travers d'un microscope les transformations successives d'une montre cylindrique ($\varnothing$ 3 mm - H. 3 mm). Cette méthode permet de suivre très aisément le film de l'opération et de déterminer les différents points caractéristiques tels que points de ramollissement, de fusion et de liquéfaction. Elle rend aisée l'étude du point de collage des suies.

(1) Résumé établi par L. Nottet.

CINETIQUE DE LA COMBUSTION DU CARBONE GRAPHITIQUE (3.01) (2)

Prof. Dr. E. Wicke,

Institut de Chimie-Physique de l'Université de Hambourg.

Le Professeur Dr. E. Wicke de l'Université de Hambourg, fait une mise au point de nos connaissances, encore bien incomplètes, sur la cinétique des réactions entre le carbone et l'oxygène. La complexité des phénomènes exige le recours à des méthodes expérimentales qui sont radicalement simplifiées par rapport aux opérations industrielles.

La réaction primaire est étudiée par trois méthodes : celle du fil incandescent, celle du tube de carbone et celle dite des inhibiteurs (chlore ou brome). Le produit primaire serait l'oxyde de carbone, mais l'anhydride carbonique apparaît en quantités croissantes lorsqu'on abaisse la température. L'ordre de la réaction est inférieur à l'unité vers laquelle il tend lorsque la température augmente.

La combustion secondaire de l'oxyde de carbone est une réaction purement gazeuse, nécessitant la présence de radicaux OH et d'atomes d'hydrogène faisant passer l'oxygène dans les molécules d'oxyde de carbone par un mécanisme en chaîne. La vitesse d'oxydation est proportionnelle à la pression partielle de l'oxyde de carbone et, pour les fortes teneurs du gaz en vapeur d'eau, à la pression partielle de l'oxygène.

Si on travaille dans des conditions isothermes, on constate qu'aux basses températures (inférieures à 650° C) toute la surface interne du carbone poreux participe à la réaction. Pour des températures plus élevées, il faut faire intervenir la diffusion dans les pores ; au delà de 1000° C, il faut tenir compte de la diffusion dans la couche limite dont l'effet finit par devenir prépondérant.

On peut schématiser les phénomènes par les courbes de la fig. 1 (température de 1400° C) donnant les concentrations de l'oxygène, de l'oxyde de

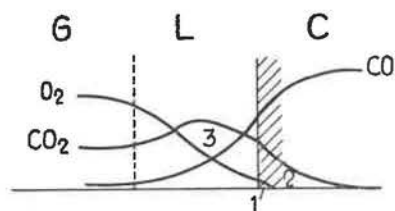


Fig. 1. — Courbes de concentration de O_2 , de CO et de CO_2 avec processus simultané de l'attaque par l'oxygène sur le combustible (zone 1) de la gazéification en CO_2 dans le combustible (zone 2) et de la combustion secondaire du CO dans la phase gazeuse (zone 3) pour des températures de carbone voisines de 1400° C (schéma).

carbone et de l'anhydride carbonique dans la couche gazeuse G, la couche limite L et le combustible poreux C.

L'oxyde de carbone brûle dans la couche limite ; l'oxygène et l'anhydride carbonique diffusent dans les pores du combustible ; l'oxygène y pénètre peu à cause de sa vitesse de réaction élevée, l'anhydride carbonique y pénètre plus profondément. A la surface du combustible, l'oxygène transforme le carbone en oxyde de carbone ; en profondeur, l'anhydride carbonique réagit avec le carbone pour former également de l'oxyde de carbone. Si de la vapeur d'eau est présente, elle se comporte comme l'anhydride carbonique et renforce la gazéification interne.

LE MECANISME DE LA COMBUSTION DU CHARBON PULVERISE (3.02) (2)

Prof. Dr. P. O. Rosin.

Le Professeur Dr. P.O. Rosin, de Londres, analyse les différents processus partiels qui, par leur combinaison, constituent le mécanisme de la combustion du charbon pulvérisé, en se limitant au cas des grandes unités évaporatoires.

La première caractéristique est la finesse du pulvérin qui est bien traduite par la surface moyenne des grains. Cette surface diminuant au cours de la combustion, il y a lieu de considérer une surface effective moyenne. La réduction de surface pendant la combustion peut être représentée par des courbes

analogues à celles de la figure 2 qui permettent l'évaluation de cette surface effective moyenne.

L'auteur précise ensuite les conditions dans lesquelles s'effectue la combustion du charbon dans le cas de la grille, du lit fluidisé, du foyer cyclone et du pulvérisé. Pour ce dernier, les lois de l'aérodynamique sont applicables ; la surface réactive est maximum, mais les vitesses relatives des particules par rapport au gaz sont faibles. Ces vitesses relatives résultent a) de la pesanteur, b) de la force centrifuge dans les tourbillons, c) de la poussée créée par l'enveloppe gazeuse très chaude, d) de

(2) Résumé établi par J. Danze.

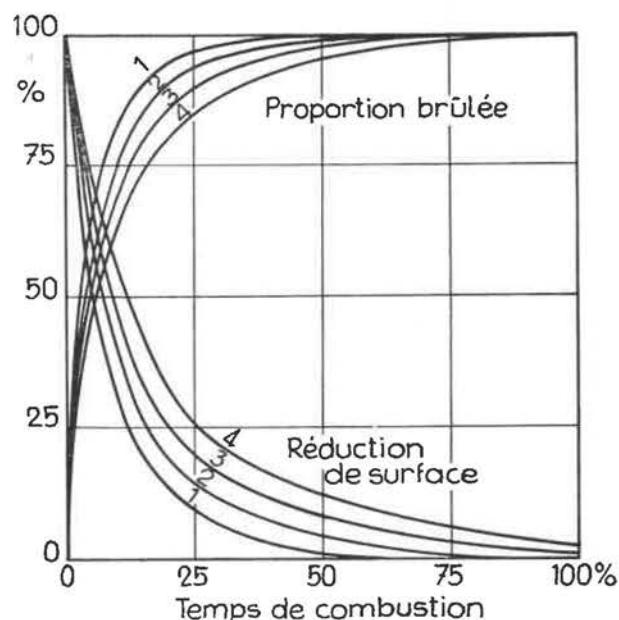


Fig. 2.
 1,5 % > 90 microns 3,25 % > 90 microns
 2,15 % > 90 microns 4,35 % > 90 microns

l'action exercée par les matières volatiles qui brûlent.

Les petits grains trouvent dans leur voisinage immédiat l'air nécessaire à leur combustion, les grains plus gros doivent se déplacer pour que leur besoin en oxygène soit pleinement satisfait.

Du point de vue thermodynamique, il faut distinguer trois phases : a) échauffement et dégagement des matières volatiles, b) inflammation facilitée par la combustion des matières volatiles, c) combustion du coke résiduel. L'inflammation accélérée est la clé d'une utilisation efficace d'une chambre de combustion. La combustion de la poussière très fine est analogue à celle d'un mélange gazeux homogène ; celle du coke résiduel est une réaction hétérogène dépendant des disponibilités en oxygène à la surface de contact.

En ce qui concerne la cinétique de la combustion, l'auteur rappelle les résultats obtenus par Wicke (rappelés plus haut), Gumz et Godsavé. Il a calculé le rapport entre la vitesse instantanée de réaction et la vitesse initiale en fonction de la fraction brûlée. Les résultats sont traduits par les courbes de la figure 3 correspondant à différents excès d'air ; la courbe en traits interrompus donne le rapport du diamètre instantané au diamètre initial.

Pour un excès d'air nul ($n = 1$), la vitesse de réaction diminue continuellement ; plus l'excès d'air augmente, moins cette décroissance est rapide et, en fin de combustion, la vitesse de réaction subit un accroissement marqué.

Ces résultats ne tiennent pas compte de l'effet des cendres, action catalytique favorable associée à l'action défavorable due au recouvrement de la surface de réaction. Il est à espérer que de nouvelles recherches pallieront notre manque de connaissance à ce sujet.

Il y a lieu de noter que le dégagement spécifique de chaleur dans les grandes chambres de combustion est beaucoup plus faible que celui qui peut être déduit des vitesses de réaction et, par suite, du séjour minimum des grains dans le foyer. Pour réduire les dimensions de la chambre, il faut réduire l'excès d'air, la température moyenne des gaz ou les durées d'inflammation et de combustion. Une diminution de l'excès d'air en dessous de 25 ou 30 % n'est pas souhaitable puisque la vitesse de réaction serait réduite (fig. 3). La diminution de la température moyenne des gaz conduirait à accroître considérablement la surface de chauffe directe, à moins qu'on ne puisse améliorer le facteur d'émission des flammes et le facteur d'absorption des écrans (plus propres). La diminution des durées d'inflammation et de combustion peut être recherchée par une amélioration des facteurs aérodynamiques, également par un broyage plus fin.

L'auteur considère que ces améliorations ne sont pas d'un intérêt immédiat, car la réduction des frais d'établissement résultant d'une réduction des dimensions du foyer serait compensée par l'accroissement des frais de pulvérisation ; d'autre part, les grandes unités doivent avoir une grande disponibilité d'utilisation, ce qui limite la température des gaz à l'entrée de la surface de chauffe indirecte à environ 1100° C. Avant de pouvoir relever cette température, il faudrait avoir une connaissance plus approfondie des processus physiques et chimiques qui sont la cause des agglomérations des dépôts dans les foyers.

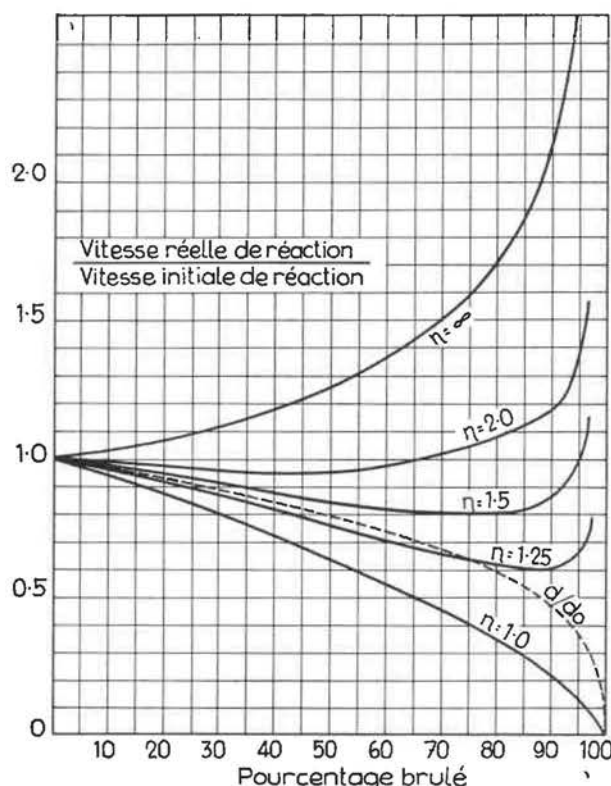


Fig. 3.

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA COMBUSTION DU CHARBON PULVERISE (3.03) (2)

R. Loison,

Ingénieur en Chef des Mines,
Directeur des Groupes de Recherches au Cerchar.

G. Tissandier,

Ingénieur civil des Mines,
Ingénieur au Cerchar.

Les auteurs rapportent les premiers résultats obtenus à la station d'Imuiden du Comité international d'Etudes sur les Flammes.

Les essais ont été effectués avec un même charbon (flambant sec de Lorraine) en étudiant l'influence des facteurs suivants : proportion d'air primaire ; granulométrie du poussier ; vitesse de l'air secondaire ; refroidissement de la chambre. On a mesuré, sur l'axe de la flamme, la température, la

vitesse, la composition du gaz et la concentration en particules solides en fonction de la distance au brûleur. On a également évalué, dans diverses sections du four, le flux calorifique rayonné par la flamme et son facteur d'émission.

Les résultats obtenus présentent un grand intérêt, mais le nombre de cas étudiés est trop faible pour qu'on puisse actuellement en tirer des conclusions pratiques.

LA TEMPERATURE DANS LA PAROI DES ECRANS TUBULAIRES DE RADIATION DES FOYERS INDUSTRIELS (3.04) (2)

Prof. Dr. Ing. habil. J. Boehm

Les tubes-écrans, soumis au rayonnement unilatéral du foyer, sont le siège de contraintes thermiques locales qui se superposent aux contraintes dues à la pression interne. L'auteur se propose de donner les bases du calcul de la distribution des températures dans la paroi d'un tube d'écran ; il tient compte du rayonnement direct du foyer, du rayonnement réfléchi par les murs et de la convection des gaz chauds. Trois méthodes sont développées :

1) Une solution approchée néglige la conductibilité tangentielle dans le métal.

2) Une solution améliorée est obtenue en supposant l'épaisseur petite par rapport au diamètre du tube ; on calcule la répartition de la température à la surface interne ; utilisant la chute thermique radiale déterminée par la première méthode, on évalue la répartition de la température à la surface externe.

3) La solution exacte est indiquée, mais conduit à des calculs très compliqués.

Des exemples numériques indiquent que la solution améliorée conduit à des résultats suffisamment approchés. On met également en évidence l'influence favorable d'un haut coefficient de convection du côté de l'eau. Pour évaluer ce coefficient α , l'auteur utilise la formule suivante qu'il a déduite d'une étude spéciale

$$\alpha \text{ (kcal/m}^2\text{.h.}^\circ\text{C)} = k.w^{0,8}/d^{0,2}$$

avec w m/sec pour la vitesse moyenne de l'eau et d m pour le diamètre intérieur du tube. Le facteur k est une fonction de la température t °C de l'eau

$$k = 3.800 - 12,6 \left(\frac{t}{20} - 12,6 \right)^2$$

La formule est valable pour des températures comprises entre 100 et 300° C et des pressions allant jusqu'à 400 kg/cm².

CONTRIBUTION AU CALCUL DE LA TEMPERATURE MOYENNE ET DES DIMENSIONS A DONNER AUX CHAMBRES DE COMBUSTION UTILISANT LE CHARBON PULVERISE (3.04 suite) (2)

Prof. Dr. J. Boehm et M.H. Viereckl

Les auteurs présentent deux nomogrammes : l'un permet le calcul de la température moyenne du

foyer, l'autre, les différentes grandeurs caractéristiques de la chambre de combustion.

Ces graphiques peuvent rendre de bons services pour l'élaboration de projets ou pour des calculs de vérification.

(2) Résumé établi par J. Danze.

LE TRAITEMENT DES SCHLAMMS TRANSPORTES HYDRAULIQUEMENT A LA CENTRALE EMILE HUCHET (4.01) (3)

P. Aubathier,

Ingénieur civil des Mines,
Ingénieur Principal aux Houillères du Bassin de Lorraine.

L'alimentation en combustible de cette importante centrale de 470.000 kW, dont 220.000 kW déjà en service, est constituée par des charbons secondaires suivants :

- ± 20 % (pulvérulents à 8 % d'humidité, mixtes à 15/30 % d'humidité), amenés des divers lavoirs par wagons et,
- ± 80 % de schlamm brut sous forme de pulpe à 125 g/l, amenés par des pipe-lines.

Caractéristiques des conduites d'amenée des schlamms.

	venant du lavoir Freymin	venant du lavoir du Puits VI
Longueur	9,200 km	1,700 km
Diamètre intérieur	375 mm	113 mm
Débit normal	960 m ³ /h	110 m ³ /h
Pression au départ	16 kg/cm ²	13 kg/cm ²

Les pulvérulents vont directement aux chaufferies, tandis que les mixtes et les schlamms décan-
tés et filtrés sont séchés jusqu'à 8 % d'humidité.

Le traitement des pulpes de schlamm brut est classique: arrivée de l'eau schlammeuse (18.000 m³/jour) dans un bassin de réception, pompage vers 8 groupes de 2 cyclones de 350 mm de diamètre, dont les purges (800 g/l) sont envoyées directement dans 8 filtres à vide de 80 m² de surface filtrante

unitaire; l'effluent des cyclones (60 g/l) est envoyé pour décantation dans deux épaisseurs de 30 m de diamètre où, par floculation, on obtient une nouvelle purge (± 400 g/l) qui rejoint les filtres et une eau parfaitement clarifiée (50 mg/l).

Cette dernière eau (15.800 m³/jour) est par ailleurs employée aux dépoussiéreurs de la centrale.

Les divers lavoirs à charbon livrent journellement à la centrale, par les deux pipe-lines, une quantité exprimée à 24 % d'eau, de 3.000 t. Ces schlamms contiennent 45 % de particules inférieures à 100 microns.

Les séchoirs qui reçoivent les mixtes et les schlamms sont du type turbo-sécheur Büttner et sont au nombre de quatre: deux de 25 t/h unitaire et deux de 50 t/h unitaire.

Le disponible en produits secondaires est, pour tout le Bassin de Lorraine, de 2.700.000 t/an (1956), se répartissant en :

- 18,3 % pulvérulents,
- 26,7 % mixtes,
- 55,0 % schlamms.

La Centrale Emile Huchet seule en consomme près de 1.000.000 t/an.

Le traitement des eaux schlammeuses, en provenance de divers lavoirs, régularise fortement les teneurs en cendres et matières volatiles, ce qui favorise l'utilisation massive de schlamms.

LES TECHNIQUES ACTUELLES DE BROUAGE ET DE SECHAGE DES COMBUSTIBLES SECONDAIRES POUR FOYERS A PULVERISE DANS LES CENTRALES THERMIQUES BELGES (4.02) (4)

J. Danze,

Ingénieur en Chef, Directeur des Mines, Professeur ordinaire.

et

L. Delvaux,

Ingénieur civil A.I.Lg., Master of Science, Chef de Travaux.
Université de Liège.

Ce rapport tente de faire le point des tendances générales que l'on peut dégager d'une étude comparée des solutions données aux problèmes de broyage et de séchage tels qu'ils se posent dans les

centrales à pulvérisé belges de réalisation récente et utilisant des bas-produits dans leurs mélanges combustibles.

L'importance des produits secondaires pour les centrales thermiques belges est tout d'abord indiquée: 80 % de la production électrique annuelle,

(3) Résumé établi par J. Ponomarenko.

(4) Résumé établi par L. Delvaux.

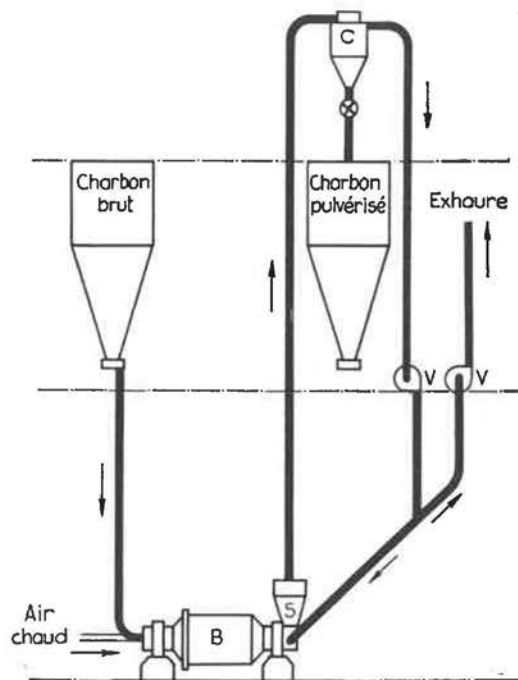


Fig. 4. — Séchage au broyeur.

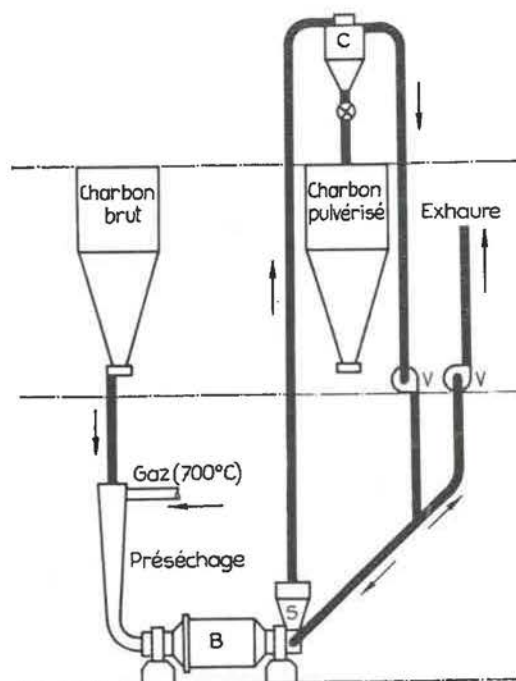


Fig. 5. — Préséchage et séchage au broyeur.

qui s'élève au total à 11,8 milliards de kWh nets, sont assurés par le charbon et les produits secondaires interviennent, en moyenne, pour près de 80 % également dans le total des combustibles solides consommés.

L'étude porte sur une soixante d'unités de production d'une capacité évaporatoire de 40 à plus de 200 t/h, installées depuis 1946 ou en voie de l'être et dont l'ensemble correspond à une puissance électrique nominale d'environ 2,0 millions de kW.

Suivant les cas, le combustible est séché :

a) Entièrement au broyeur, ce dernier étant alimenté en air ou gaz chauds prélevés à la chaudière (fig. 4). Cette solution est possible avec des charbons à moins de 8 à 10 % d'eau, ceci suivant le type de broyeur.

b) Partiellement dans un séchoir relié aux circuits broyeur-chaudière et partiellement au broyeur;

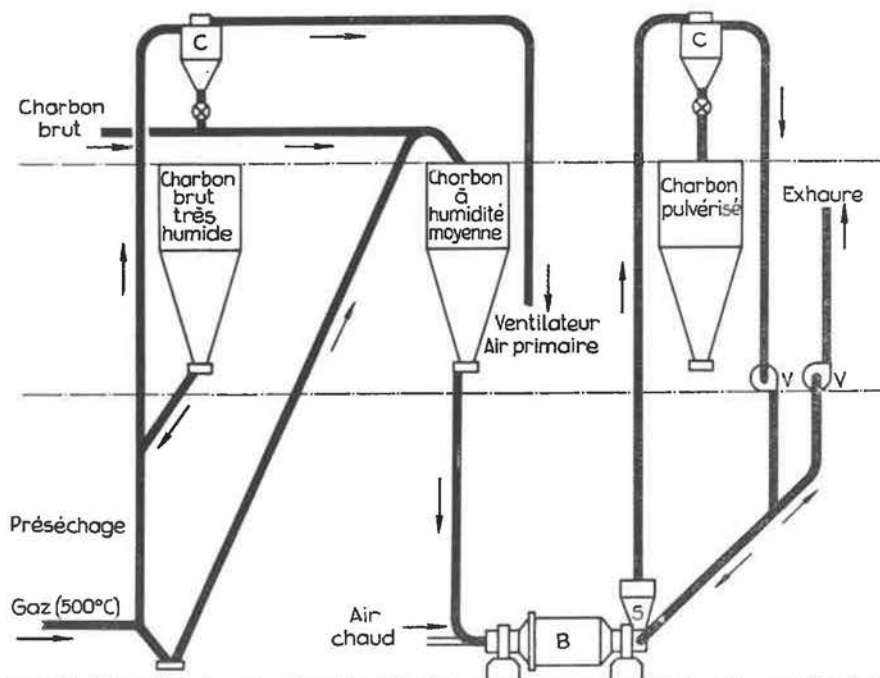


Fig. 6. — Préséchage partiel et séchage au broyeur.

le séchage avant broyeur — ou préséchage — peut être effectué, soit sur l'ensemble du mélange (fig. 5), soit sur sa fraction la plus humide, les schlamms (fig. 6). La plupart des centrales équipées de chaudières de moyenne ou de forte capacité évaporatoire sont dotées d'installations répondant à l'une ou l'autre de ces techniques.

c) Partiellement dans un séchoir entièrement indépendant du circuit de broyage et partiellement au broyeur ; ici encore, le séchage préalable peut être, soit limité aux schlamms (ou à une fraction du mélange riche en schlamms), soit étendu au mélange global. Les flow-sheets correspondants dérivent alors respectivement, soit de la figure 6 où l'on remplace la gaine de préséchage par un séchoir indépendant, soit de la figure 4, à condition de placer un séchoir indépendant en amont du schéma présenté. Des réalisations à séchoir préliminaire indépendant sont encore peu nombreuses, mais paraissent devoir se retrouver plus fréquemment dans les installations nouvelles.

En second lieu, en ce qui concerne le broyage du mélange combustible, il peut se faire :

a) soit au broyeur à boulets ; cette solution est la plus répandue dans les installations de moyenne et de forte capacité évaporatoire et se combine presque toujours avec la technique de l'alimentation indirecte du foyer, c'est-à-dire avec stockage intermédiaire ;

b) soit dans un broyeur à anneau, du type à boulets guidés, ou à galets pendulaires fixes, ou

encore à galets pendulaires mobiles ; ces techniques se rencontrent dans environ 1/5 des cas, aussi bien pour les installations de forte ou moyenne que de faible capacité évaporatoire ;

c) soit enfin dans des broyeurs à impact, souvent utilisés en installations de faible capacité évaporatoire.

Les auteurs, après cette revue des tendances générales, développent plus particulièrement quelques points particuliers comme le choix du mode de préséchage, lorsqu'il a lieu ; l'utilisation des broyeurs à boulets et la question de la nature du revêtement et des corps broyants sont également discutées : il semble intéressant de prévoir un revêtement spécial pour les combustibles secondaires ; trois formules belges sont commentées. Enfin, l'incidence de l'emploi des combustibles secondaires sur le prix de revient de l'opération de broyage, et partant du prix du kWh, est chiffré au moyen d'exemples : on arrive, quel que soit le type de broyeur, à 2 ou 3 % du prix de revient total du kWh.

Pour terminer, les tendances les plus marquantes des installations futures sont données : parmi elles, les différentes techniques applicables au séchage des schlamms effectué indépendamment du broyage (le choix du procédé étant également brièvement esquissé) et le dépoussiérage suivi d'une remise à l'atmosphère de l'exhaure des buées de séchage, procédé tendant à remplacer la réinjection à la chaudière.

LE TRANSPORT DU CHARBON PULVERISÉ A L'AIR (4.03) (4)

J. Commissaire,

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Directeur de la Région d'Équipement Thermique II,
(Electricité de France).

Cette étude de certains aspects du transport du charbon pulvérisé par l'air met tout d'abord l'accent sur le manque de fondements théoriques de cette technique (*).

En pratique, pour obtenir le transport d'un solide en suspension dans l'air, on réalise, suivant l'auteur,

(4) Résumé établi par L. Delvaux.

(*) Il nous paraît utile de signaler ici les études récentes de Vogt et White (Industrial and Engineering Chemistry, 1948), celles de Clark et al. (Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 1952), ainsi que les travaux de Barth, effectués à Karlsruhe depuis 1950, à partir de recherches antérieures de Gasterstaedt (V.D.I., 1924). Toutes ces études introduisent des équations permettant de calculer la perte de charge en conduite de transport ; leur synthèse est encore à faire, surtout en vue de l'application pratique, afin de confronter leurs indications avec les résultats de l'expérience.

un écoulement turbulent de manière à éviter la sédimentation du solide que provoquerait le régime d'écoulement laminaire (fig. 7 et 8).

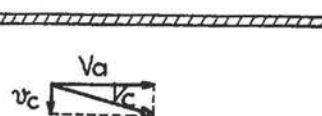


Fig. 7. — Tuyauterie rectiligne horizontale — Régime laminaire.
 V_a : Vitesse de l'air de transport
 V_c : Vitesse absolue du charbon
 v_r : Vitesse relative du charbon par rapport à l'air.

Des essais effectués par un constructeur belge et des indications données par un constructeur amé-

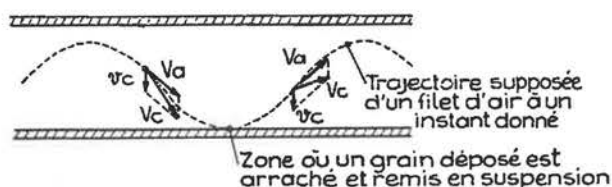


Fig. 8. — Tuyauterie rectiligne horizontale — Régime turbulent.

ricain, certaines données empiriques sur la vitesse minimum de transport nécessaire pour éviter tout dépôt de charbon se dégagent et sont données par l'auteur. Elles sont assez concordantes.

Pour le calcul des pertes de charge, il applique une formule simple qui nous paraît découler de celle obtenue par Segler dans ses études sur le transport pneumatique du grain (**).

L'examen du réglage de la finesse et du fonctionnement des différents types de sélecteurs nous a paru intéressant. Trois dispositifs commerciaux font l'objet d'une esquisse d'étude cinématique. L'auteur montre comment, dans chaque cas, les forces en jeu se ramènent à des fonctions simples de la dimension linéaire des particules : la sélection pro-

vient d'un déséquilibre entre, d'une part, les forces centrifuges sollicitant les particules de charbon et variant approximativement comme L^3 (L étant la dimension linéaire moyenne de la particule considérée) et, d'autre part, les forces exercées sur les particules par l'air (proportionnelles à L^2). Ce déséquilibre apparaît pour une valeur critique de L .

L'auteur traite ensuite des ennuis qui peuvent survenir dans le transport du charbon pulvérisé et qui sont dus soit à la ségrégation du charbon dans l'air servant au transport, ce phénomène étant provoqué par l'effet de la pesanteur ou de la force centrifuge, soit encore à la présence d'humidité qui agglomère les particules entre elles.

Ces difficultés peuvent se présenter aux brûleurs comme aux répartiteurs et des indications pratiques sur certaines dispositions destinées à les pallier sont données.

Le problème de la prise d'échantillons est abordé : il est la condition première à la connaissance de la finesse du pulvérisé. L'auteur suggère une méthode idéale, mais d'application difficile. On se reportera aux commentaires donnés sur la communication 4.05 qui reprend ce sujet.

PROBLEMES POSES PAR L'ACCROISSEMENT DE LA TAILLE DES BROyeurs (4.04) (4)

G. Quesnel,

Ingénieur E.B.P.

L'accroissement de la capacité des générateurs de vapeur entraîne naturellement une augmentation de l'importance des unités de chauffe et de leurs auxiliaires. A ce facteur s'en ajoute un autre dont l'action joue dans le même sens : les combustibles utilisés voient leur qualité diminuer et la quantité d'imbrûlés ainsi que l'humidité y augmentent, nécessitant ainsi, pour un même effet calorifique à la chaudière, un accroissement de la capacité de broyeurs.

L'auteur veut analyser les problèmes ainsi posés pour chaque catégorie de broyeurs ; il reprend brièvement les caractéristiques de fonctionnement de chacune d'entre elles :

- a) broyeurs procédant par écrasement (du type à anneau, soit à boulets guidés, soit à boulets pendulaires fixes ou mobiles) ;
- b) broyeurs travaillant par chocs (à impact) ;
- c) broyeurs effectuant la pulvérisation par trituration (et par chocs) à boulets.

(**) Segler G., « Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für Ihre Berechnung », R.K.T.L., 1934, n° 55.

(4) Résumé établi par L. Delvaux.

L'auteur attire en outre l'attention, dans son examen, sur la sujétion entraînée par la combustion directe (sans stockage) sur les valeurs des quantités de charbon et d'air passant dans le broyeur et sur le rapport déterminé entre ces quantités qui est à maintenir.

Des considérations théoriques simples qu'il donne, il découle que si l'on veut accroître le débit en charbon, les différents types de broyeurs n'offrent pas un intérêt identique. Ainsi, en doublant les dimensions, on obtient un débit qui équivaut respectivement à 4, 8, 11,3 fois la valeur initiale suivant que l'on prend le broyeur à chocs, le broyeur à écrasement ou le broyeur à trituration.

L'intérêt du broyeur à boulets est donc manifeste à ce point de vue.

D'autre part, en aucun cas, on ne peut obtenir un parallélisme entre la variation du débit de charbon et celle du débit d'air lorsqu'on modifie les dimensions. L'homothétie entre un petit et un grand broyeur est donc impossible.

Les dimensions d'organes de passage d'air doivent croître proportionnellement plus et l'on doit s'attendre à voir se modifier la silhouette des broyeurs si leur capacité va en augmentant.

Ainsi, par exemple, le problème du dimensionnement des tourillons devient-il aigu dans le broyeur à boulets.

Cependant ajoute l'auteur, en terminant ces considérations générales, actuellement l'augmentation de l'importance des broyeurs est un peu condition-

née par celle des foyers, où un problème analogue d'opposition entre deux fonctions de l'appareil se manifeste lorsque la dimension en croît : capacité de production (à densité calorifique constante) et capacité d'absorption des calories produites qui varient toutes deux différemment avec la dimension.

L'EXPLOITATION DES BROYEURS DESTINES AUX CHAUDIERES A PULVERISE DANS LES CENTRALES THERMIQUES (4.05) (4)

M. Robert,

Ingénieur A. et M.

Cette communication, à orientation pratique, était très substantielle, quoique un peu décousue ; sa lecture nous paraît devoir être profitable pour l'exploitation de centrales. Elle a pour but d'apporter des indications sur la meilleure façon de satisfaire à certaines exigences de la technique du broyage et de son contrôle.

L'auteur commence par envisager l'intérêt du triage magnétique préalable et les soins à apporter à l'alimentation des broyeurs. Parlant du séchage, il suggère, pour les charbons fort humides, un essorage préalable et un séchage préliminaire indépendant de l'opération de broyage (ce qui rejoint certaines des observations de la communication 4.02).

L'obtention d'une granulométrie déterminée du charbon pulvérisé et son contrôle font l'objet d'une analyse dont l'intérêt est certain : l'auteur suggère pour le prélèvement d'échantillons de s'inspirer des normes américaines « Power Test Codes 1944 Pulveriser Procedure », dont il donne une traduction en annexe. Pour l'analyse granulométrique, si l'on veut aller en dessous de 74μ , il conseille l'emploi d'élutriateurs spéciaux dont il décrit quelque peu une réalisation permettant une opération rapide.

L'appareillage de contrôle est ensuite envisagé : les modalités du réglage de débit au broyeur sont étudiées : cas des broyeurs à alimentation directe, fonctionnant donc sous pression ; cas du broyeur sous dépression suivi d'un stockage, plus difficile à résoudre surtout lorsqu'il s'agit du broyeur à boulets où aucun asservissement entre le moteur du broyeur et le distributeur n'est possible, vu l'absence dans ce cas spécial de relation entre l'énergie consommée et la charge de charbon en circulation.

Enfin, on insiste sur l'ordre logique à respecter dans les mises en marche et les arrêts des appareils en séquence ; cette succession s'obtient par l'intermédiaire d'asservissements.

Les incidents en cours de broyage font l'objet du paragraphe suivant : c'est surtout des explosions que parle l'auteur, analysant l'influence des poussières et les possibilités de distillation du charbon. Des précisions très pratiques sont données sur l'utilité d'éviter les dépôts de charbon et sur leurs causes les plus fréquentes.

Au chapitre de l'entretien, le choix des matériaux est envisagé ; l'auteur paraît préférer pour les broyeurs à boulets traitant des produits abrasifs des revêtements en fonte spéciale Ni-hard. Il suggère ensuite un moyen de lutte contre le bruit produit par un broyeur à boulets, type spécialement critique à ce sujet : ce dispositif original comporte l'emploi d'un casing en bois entourant le broyeur et construit de manière à être démontable, tout en étant muni de portes de visite.

Enfin, la question, d'importance capitale, de la connaissance des performances d'un broyeur et de la prédétermination de ces dernières est avancée. Il s'agit de connaître : a) le débit du broyeur pour des caractéristiques de finesse et d'humidité données et b) la consommation totale d'énergie par tonne broyée. La recherche du premier élément exige l'échantillonnage granulométrique du brut et du pulvérisé (il en a déjà été parlé) tandis que l'approche du second sera permise par la détermination du bilan énergétique du bilan de broyage (qui nécessite également l'introduction de celui du séchage au broyeur). La prédétermination des performances du broyeur sera grandement aidée par la recherche d'un critère de facilité de broyage du charbon, tel l'indice de Hardgrove. L'auteur est partisan de l'emploi de ce dernier lorsque le broyage n'est pas trop poussé. Il suggère cependant que l'on envisage des réalisations d'autres appareils poursuivant le même but que celui de Hardgrove mais adaptés comme ce dernier à un mode spécifique de broyage et permettant une meilleure extrapolation des résultats des essais.

(4) Résumé établi par L. Delvaux.

LES CHAUDIERES A FOYERS A CENDRES PULVERULENTES (4.06) (5)**M. Fournier,**

Ingénieur A. et M., E.S.M.E.

La nature du combustible employé, sa dureté, son humidité, sa granulométrie et sa teneur en matières volatiles déterminent la qualité du broyage, le module de finesse étant primordial pour la combustion.

Le choix de la nature des foyers à cendres fondues ou à cendres pulvérulentes doit s'inspirer entre autres des facteurs suivants :

- a) imbrûlés,
- b) température du foyer,
- c) rendement,
- d) nature des cendres en fonction de la température de régime.

Les considérations concernant ce choix ont été longuement développées au cours du Congrès. D'autres communications en font mention.

Après avoir passé en revue le dimensionnement de la chambre, les types, positions et réglage des brûleurs, l'auteur signale que c'est vers 15/16 % de matières volatiles que les techniques différencient les charbons gras et les charbons maigres.

En ce qui concerne l'allumage, on doit éviter la moindre erreur ou défaillance dans la manœuvre

des opérations successives. En effet, un rallumage intempestif pourrait provoquer l'inflammation du gaz tonnant qui se serait formé. La prudence impose de couper l'alimentation du combustible et de reprendre la suite des manœuvres après ventilation efficace.

Les investissements importants des centrales modernes ne peuvent se justifier uniquement du point de vue du rendement thermique élevé, il faut tenir compte également de la disponibilité du groupe entier.

Ainsi un calcul rapide de l'effet de 10 jours d'arrêt d'une centrale, dont le rendement thermique est de 90 % et dont les frais directs dus au combustible sont de 45 % des frais totaux, montre que la hausse du prix de revient est de 1,7 %, ce qui équivaut à une chute du rendement thermique de 3,4 % et ce, pour une année.

Il en résulte que la recherche poussée vers une amélioration du rendement d'une installation bloc-chaudières-alternateurs ne doit pas mettre en balance le risque ou l'obligation d'arrêts que le perfectionnement peut éventuellement causer.

PROBLEMES POSES PAR L'UTILISATION DES CHARBONS CENDREUX DANS LES CENTRALES THERMIQUES (4.07) (5)**G. Bouttes,**

Ingénieur E.S.E.

et

A. Vellard,

Ingénieur civil des Mines.

Service des Centrales électriques des Houillères du Bassin du Nord
et du Pas-de-Calais.

Le taux des cendres des combustibles secondaires utilisés actuellement dans les centrales thermiques est passé à 40 - 45 %. L'expérience acquise, surtout dans la conception du matériel, permet d'augurer qu'il n'y a pas de difficultés majeures pour brûler des charbons allant jusqu'à 50 % de cendres

Cet accroissement du taux de cendres, en provenance surtout des produits secondaires de divers lavoirs, postule une station de mélange bien agencée, car le rendement thermique dépend entre d'autres facteurs de l'homogénéité du combustible.

En général, la perte par imbrûlés solides est beaucoup plus influencée par les matières volatiles que

par les cendres. Il en est de même pour la stabilité de la combustion et la possibilité de marche à faible allure.

La disponibilité des chaudières récentes, contrairement aux chaudières de l'ancien type, est pratiquement indépendante de la diversité de la qualité des combustibles.

En ce qui concerne les suies, une très large utilisation semble pouvoir être envisagée dans l'avenir, notamment pour ciments pouzzolaniques, matériaux légers, travaux de route, etc.

Au point de vue économique, les centrales minières sont appelées à consommer l'entière des charbons cendreux produits. Toutefois, il n'est plus de mise qu'à la faveur d'un rabais trop grand pra-

(5) Résumé établi par J. Ponomarenko.

tiqué jusqu'ici sur les prix des bas produits, les centrales minières puissent encore présenter un prix de kWh inférieur à celui des centrales consommant des charbons marchands, alors que la consommation spécifique des centrales minières était plus élevée.

La valorisation des combustibles secondaires, eu égard aux rendements des chaudières modernes, devrait être basée sur les prix de référence des produits marchands. Cette valorisation est à peu près définie par une droite passant par le produit mar-

chand et donnant une valeur nulle aux environs de 80 % de cendres.

Pour obtenir le meilleur résultat économique, il doit exister une harmonie entre la préparation mécanique, d'une part, et la centrale minière, d'autre part ; en d'autres termes : le minimum de stériles aux chaufferies et le minimum de produits, ayant une valeur calorifique au terril.

Enfin, seul le développement de l'utilisation des suies peut encore entraîner une amélioration de la valorisation.

LES FOYERS A CENDRES FONDUES. — EVOLUTION, TYPES DE CONSTRUCTION ET DESCRIPTION D'UNE CHAMBRE DE FUSION AVEC BRULEURS EN VOUTE (4.08)

Dr. W. Lenz

PRINCIPES DE CONSTRUCTION ET EXEMPLES DE REALISATION DE LA CHAUDIERE CYCLONE A AXE VERTICAL (4.09)

Dr. J. Krug

ETAT DU DEVELOPPEMENT DES FOYERS-CYCLONES A AXE PRESQUE HORIZONTAL EN ALLEMAGNE (4.10)

H. Seidl et O. Rosahl (6)

Les auteurs citent les avantages, généraux et particuliers, théoriques et pratiques, de ces foyers, exposent les principes appliqués, les difficultés rencontrées en pratique et les procédés employés pour les éliminer et montrent, à l'aide de nombreuses références, que la presque totalité des foyers à charbons pulvérisé commandés en Allemagne au cours de ces dernières années fonctionnent à cendres fondues.

Parmi les avantages signalés, celui de l'abattement des cendres à l'état de scories est à la base du développement de ces types de foyers. Ces scories ont une densité deux à trois fois supérieure à celle des cendres volantes, elles se transportent et se stockent plus facilement, elles ne constituent pas une gêne pour le voisinage par leur envol, elles ont été beaucoup utilisées comme matériau d'appoint et de remplissage dans l'industrie du bâtiment. Cette possibilité de valorisation sera toutefois insuffisante pour assurer à l'avenir le placement des scories qui présentent par ailleurs le défaut d'être coupantes. Cette propriété défavorise leur emploi comme matériau de construction de routes et comme produit de remblayage dans les mines.

Comme avantage des foyers à cendres fondues, les auteurs citent aussi celui de permettre l'utilisa-

tion d'une gamme plus large de combustibles. Cet avantage semble réel en ce qui concerne les teneurs en matières volatiles. Par contre, les teneurs en cendres et en humidité figurant dans les rapports sont inférieures à celles des bas-produits brûlés dans de bonnes conditions en France et en Belgique dans de grandes chaudières à cendres pulvérulentes. Ces derniers foyers conviennent d'ailleurs mieux à des charbons dont la température de fusion des cendres est très élevée, et ils sont moins sensibles aux variations brusques de qualité des combustibles.

Des autres avantages signalés, celui de l'abaissement du point de rosée des gaz de combustion par la moindre formation de SO_3 présente de l'intérêt pour les usagers de charbons caractérisés par de fortes teneurs en soufre.

Les constructeurs citent encore d'autres avantages inhérents aux foyers à cendres fondues : accélération de l'allumage et de la combustion du charbon à cause des températures élevées, diminution de l'excès d'air, augmentation du rendement, meilleur comportement aux charges partielles, facilité de réinjection des suies, diminution des quantités de cendres volantes rejetées à l'atmosphère, etc. dont certains prêtent pour le moins à discussion. Ainsi le rapport 410 donne des courbes de rendement d'essais de chaudières de 80 t/h à cendres fondues en 1954/1956, et à cendres pulvérulentes

(6) Résumé établi par M. Wilwertz.

en 1949. Or les foyers à cendres pulvérulentes ont aussi fait des progrès depuis lors, et l'expérience a montré que les rendements des grandes chaudières modernes équipées de ce type de foyer sont pour le moins égaux à ceux des chaudières à cendres fondues. Pour les charbons très cendreux notamment, les pertes par imbrûlés solides des foyers à cendres pulvérulentes ne sont pas supérieures à celles par chaleur sensible des cendres des foyers du deuxième type.

DEVELOPPEMENT DES FOYERS A CHARBON PULVERISE EN ALLEMAGNE (4.11) (6)

Dr. Ing. W. Gumz,

Steinkohlenbergbauverein, Essen.

Après un bref historique, l'auteur reproduit des statistiques qui montrent notamment que 52,2 % des foyers à charbon pulvérisé existant en Allemagne sont à cendres pulvérulentes, 47,8 % à cendres fondues. Des chiffres encore plus significatifs ont été publiés entretemps par Mr. Stange (Mitteilungen der V.G.B., décembre 1957) qui cite les pourcentages suivants pour les chaudières de plus de 60 t/h commandées en Allemagne ces dernières années : En 1955 : 81,4 % à cendres fondues, 10 % à cendres pulvérulentes. En 1956 : 69 % à cendres fondues, 6,55 % à cendres pulvérulentes. Ces chiffres comprennent les foyers à lignite qui sont généralement à cendres pulvérulentes. Comme l'indique Mr. Stange, les foyers à cendres pulvérulentes récemment commandés en Allemagne constituent des exceptions.

Le Dr. Gumz confirme que la raison principale du développement des foyers à cendres fondues réside dans l'élimination des cendres volantes et dans les avantages inhérents à la nature physique des scories résultant de la fusion des cendres.

Il indique que le rendement des chaudières à cendres fondues est généralement supérieur de 1 à 1,5 % au rendement moyen des chaudières à cendres pulvérulentes construites il y a une dizaine d'années, mais il ajoute ailleurs que les deux types de foyers ont atteint entretemps le même stade de perfectionnement et peuvent être considérés aujourd'hui comme étant de valeur identique.

Selon l'auteur, le recyclage des cendres volantes est pratiqué dans tous les foyers à cendres fondues qui, dans certains cas, sont encore à même de récupérer et de fondre les cendres volantes provenant de chaudières voisines.

Le Dr. Gumz consacre un chapitre à l'encrassement des surfaces de chauffe et à la disponibilité

Par ailleurs, les constructeurs n'ont pas mis suffisamment l'accent sur les inconvénients des foyers à cendres fondues : corrosions et érosions extérieurs des tubes, et encrassement des surfaces de chauffe, notamment à l'arrière des chaudières. Malgré l'emploi de dispositifs de nettoyage de diverses espèces, certaines chaudières à cendres fondues n'atteignent pas les taux élevés de disponibilité annuelle des grandes chaudières à cendres pulvérulentes.

des chaudières à cendres fondues. Dans l'ensemble, il ressort de l'expérience acquise que les encrassements ont augmenté, que les caractéristiques des dépôts se sont modifiées (notamment par la volatilisation des constituants des cendres aux très hautes températures), que des dispositifs de nettoyage, tels que souffleurs de suies et ramoneurs à grenailles sont indispensables, sans être toujours suffisants pour conférer une bonne disponibilité aux chaudières.

En mentionnant les maladies d'enfance des divers types de foyers à cendres fondues, l'auteur écrit ailleurs que les temps de fonctionnement sont encore trop courts pour permettre un jugement définitif. « Il faut un temps de service de 50.000 à 100.000 heures pour pouvoir estimer réellement et judicieusement tous les « pour et contre » de chaque type de foyer, y compris leur durée de service probable, la disponibilité des chaudières, et les dégâts possibles dus à d'éventuelles érosions et corrosions. » (A ce dernier propos, voir les articles et photos de E. Goecke et E. Hubel dans Mitteilungen der V.G.B., décembre 1957.)

L'auteur insiste aussi sur l'importance déterminante de la température dans les foyers à cendres fondues. Il estime que, si l'on ne veut pas renoncer aux avantages de ces foyers, il faudrait procéder à la fusion aux températures les plus basses possibles et il faudrait limiter aussi bien la charge spécifique de la chambre de combustion que la grandeur absolue de cette chambre.

Dans un chapitre consacré aux foyers à cendres pulvérulentes, le Dr. Gumz indique notamment que le fonctionnement de ces chambres est généralement plus simple que celui des foyers à cendres fondues. Il en est de même de leur forme, ce qui a une répercussion sur le prix de construction. Par ailleurs, pour parer aux inconvénients des cendres pulvérulentes, on a récemment imaginé et appliqué

(6) Résumé établi par M. Wilwertz.

à l'échelle industrielle, deux procédés assurant le frittage de ces cendres sur une bande, ou dans un puits situé sous la chambre de combustion.

Les foyers à charbon pluvérisé pour lignite sont généralement à cendres pulvérulentes, notamment à cause du point de fusion élevé des cendres et de la température de combustion relativement faible de ce combustible, humide et pauvre en carbone.

Pour conclure, le Dr. Gumz souligne la vive activité consacrée en Allemagne, au cours de ces dix

dernières années, au développement des foyers à cendres fondues pour la combustion du charbon et des foyers à cendres pulvérulentes pour le lignite.

Il estime qu'après la mise au point et la consécration pratique des procédés de frittage précités il sera de nouveau fait appel en ce pays, dans une certaine mesure, aux foyers à cendres pulvérulentes, en raison notamment des avantages inhérents à leur facilité de service et à la disponibilité annuelle des chaudières.

LES FOYERS A GRILLE MECANIQUE A INJECTION PNEUMATIQUE (4.12) (7)

L. Juif,

Ingénieur A. et M.,

Ingénieur mécanicien de la Marine (Cadre de Réserve).

Les chaudières à grille mécanique à injection pneumatique sont du type classique. Leur seule particularité provient du système de chauffe qui comporte, en plus de la grille mécanique, un appareillage d'injection pneumatique du charbon.

La trémie d'alimentation en charbon est divisée en deux parties, l'une inférieure qui alimente normalement la grille et l'autre supérieure qui dirige le charbon vers un plan incliné par l'intermédiaire de poussoirs.

Ces pistons sont répartis le long de la face avant de la chaudière. Ils ont un mouvement de va-et-vient de longueur réglable et sont à vitesse variable. Par le réglage de ces deux dispositifs ainsi que par l'ajustement d'un régulateur de hauteur de couche, il est possible de doser exactement la proportion de charbon destiné à l'injection. Ce charbon descend dans le foyer le long d'un plan incliné et, arrivé devant une tuyère faisant toute la largeur de la grille, il est projeté dans le foyer par l'air de la tuyère sous une pression d'environ 500 mm de colonne d'eau. Les gros morceaux de charbon tombent à l'avant de la grille, tandis que les plus fins brûlent partiellement en suspension et tombent plus loin.

L'injection n'est pas utilisée à faible charge calorifique. Jusqu'à environ 65 % de la marche poussée continue, la combustion s'effectue uniquement sur la grille par le procédé classique, la régulation étant assurée automatiquement par la vitesse de translation de la grille en fonction du débit de vapeur. Pour les charges plus élevées, la grille reste à vitesse constante et la hauteur de couche réglant l'alimentation classique reste constante. Le supplément de charge est fourni uniquement par l'injection pneumatique, dont le réglage est complètement indépendant de celui de l'alimentation sur grille.

La longueur de course des poussoirs et la position du régulateur de couche le long du plan incliné sont réglées une fois pour toutes suivant la catégorie de charbon utilisée, mais la régulation agit sur la vitesse des poussoirs. L'air total de combustion est réglé parallèlement de façon à maintenir un rapport air/charbon constant, la mise en service du ventilateur d'air de projection s'effectuant automatiquement quelques secondes avant celle des poussoirs.

Lorsque l'injection pneumatique fonctionne, la répartition de l'air sous grille est modifiée par un réglage particulier des caissons de soufflage de façon à augmenter le débit d'air au point de chute extrême du charbon projeté. Ce point de chute extrême est réglé par la pression d'air de projection pour qu'il se situe dans une zone de combustion vive et que la longueur de grille qui reste à parcourir soit suffisante pour obtenir une combustion complète.

Les avantages principaux de ce type de foyer sont :

— une augmentation du taux de combustion par heure et par mètre carré de grille à cause d'un allumage plus rapide, de l'allongement de la zone de combustion intense, d'où plus grande régularité, et à cause de la combustion en suspension des petites particules de charbon ;

— une souplesse très grande de fonctionnement lorsque l'on procède à l'injection pneumatique, c'est-à-dire de 65 % à 100 % de l'allure maximum.

Les charbons susceptibles de donner satisfaction dans ces foyers sont spécialement les fines 0/10 avec une proportion de 0/1 de 25 à 30 % et un pourcentage maximum de 10 % en grains > 5. L'indice en matières volatiles semble limité vers le bas par une teneur de 15 à 16 % de façon à permettre une inflammation aisée de la fraction inec-

(7) Résumé établi par J. Renard.

tée. L'humidité n'a pas d'influence notable sur la combustion, il suffira de satisfaire aux exigences de la manutention. La teneur en cendres peut atteindre 40 % à 50 %.

Ce type de foyer, qui n'est pas utilisé à notre connaissance en Belgique, mérite une attention particulière du fait de la bonne combustion des fines 0/10, même avec des variations importantes

de l'allure de fonctionnement et avec des teneurs en cendres élevées. L'avantage de pouvoir, sur une unité neuve, réduire la surface de grille nécessaire nous paraît devoir être compensé par la nécessité de prévoir une densité calorifique de combustion moindre, c'est-à-dire d'augmenter le volume de la chambre de combustion et de prévoir aussi un dépoussiérage plus important.

LES FOYERS « IGNIFLUID » (4.13) (7)

M.S. Voboda,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Les foyers Ignifluid sont une application du phénomène de la fluidisation à la combustion des fines de charbon dans les chaudières multitubulaires de moyenne et grande importance.

Le lit de feu « fluidisé » est constitué par la masse des fines particules de charbon qui sont maintenues en suspension dans un courant d'air ascendant, l'ensemble présentant l'aspect d'un liquide en ébullition.

Le bas de la chambre de combustion est limité par une grille mécanique assez longue et étroite (environ la longueur de la chaudière et le 1/10^e de sa largeur) et ascendante de l'avant vers l'arrière suivant une inclinaison de 15° sur l'horizontale. Le raccordement de la grille aux façades avant et latérales de la chambre de combustion est réalisé par des talus naturels de charbon.

Le lit de feu est ainsi limité à la face avant et latéralement par ces talus de charbon et à la face arrière par la grille à mâchefers. La surface libre du lit est sensiblement horizontale et sa profondeur est de l'ordre de 50 cm.

Les fines de charbon sont alimentées par projection au-dessus du lit de feu par un soufflage pneumatique ou par un distributeur mécanique sur environ les deux tiers avant de la section horizontale de la chambre de combustion. Elles tombent directement dans la masse du foyer ou bien se déposent sur les talus d'éboulement, qui sont constamment renouvelés en surface.

Le lit de feu fluidisé est créé par une pulsion d'air primaire à travers les caissons étanches de la grille. La pression d'air est réglée en décroissant de l'avant vers l'arrière de 200 à 20 mm de colonne d'eau. Cet air étant pulsé alternativement empêche la ségrégation des particules de charbon et provoque un mouvement relatif intense air-particules de telle sorte que le lit fluidisé peut être considéré comme un mélange homogène. La combustion est ainsi très rapide.

La quantité d'air primaire envoyée sous grille n'est pas suffisante pour provoquer une combustion complète. Le lit fluide fonctionne donc comme un gazogène. Un air secondaire introduit au-dessus du lit assure une combustion complète des gaz imbrûlés.

Dans le lit fluide règne une température élevée qui provoque la fusion des cendres et leur agglomération sous forme de mâchefers. Par gravité, ceux-ci tombent sur la grille qui les évacue. C'est en fait le seul rôle de la grille. En bout de grille, un soufflage d'air enlève les fines particules entraînées avec les mâchefers et assure aussi la combustion totale des imbrûlés solides incorporés.

La régulation du foyer est jusqu'à présent semi-automatique. Il faut que la vitesse de l'air primaire soit réglée pour assurer la stabilité du lit fluide. En pratique, pour une allure déterminée, la bonne marche du foyer est caractérisée par la constance du niveau du lit. Une canne manométrique transmet les variations de hauteur du lit et commande, en conséquence, le débit de charbon automatiquement. Les variations d'allure se font par action manuelle sur les débits d'airs primaire et secondaire.

Les résultats d'essai sont satisfaisants. La marche est régulière. Le réglage est efficace et permet de stabiliser le feu jusqu'au minimum technique du 1/3 de charge environ.

Les caractéristiques des charbons utilisables sont assez variables. La granulométrie idéale est le 0/5. Les 0/2 peuvent aussi convenir, mais le pourcentage d'envols est plus important. Les 0/10 donnent une utilisation convenable pour autant que la proportion 5/10 soit minime. Les gros grains ne se maintiennent pas dans le lit fluidisé. Ils tombent sur la grille et sont entraînés avec les mâchefers avant d'avoir terminé la combustion. L'humidité ne joue aucun rôle au point de vue combustion ; on est limité par les impératifs de manutention. La teneur en cendres peut atteindre 40 %, le point de fusion des cendres n'ayant pas d'importance. La teneur en

(7) Résumé établi par J. Renard.

matières volatiles est normalement inférieure à 15 %. Pour les charbons cokéfiant, certains essais laissent prévoir la possibilité d'une bonne utilisation mais, à l'heure actuelle, on n'est pas suffisamment informé sur le danger de la formation de blocs agglomérés au-dessus du lit fluidisé.

Ces foyers méritent une attention spéciale. Ils ne réclament que des frais peu importants en installation et l'entretien des chaudières paraît minime. Ils permettent l'emploi d'une large gamme de combustibles. On a même expérimenté avec

succès l'utilisation de schlamms humides. Ils peuvent être montés facilement sur les chaudières multitubulaires qu'elles soient du type « à rayonnement » ou non et conviennent très bien pour d'autres installations industrielles, pour le séchage par exemple. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de prévoir un refroidissement des rives de grilles. Si, actuellement, les pertes par imbrûlés solides dans les mâchefers et surtout les pertes par cokes volants sont assez importantes, il ne fait pas de doute que les mises au point futures y remédieront.

LE FOYER A COMBUSTION EN SUSPENSION STOUFF (4.14) (7)

L. Stouff,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Le foyer Stouff comprend une chambre de combustion en forme de divergent à axe vertical et évasement vers le haut. Les parois sont en réfractaires. Cette chambre est généralement prolongée vers le haut par une chambre cubique.

Les fines de charbon sont introduites dans la partie supérieure du cône et brûlent en suspension aérodynamique. Le courant d'air ascendant est créé uniquement par le ventilateur de tirage de la cheminée. Suivant l'allure de la combustion, la granulométrie et la densité du charbon, la dépression du foyer varie de 10 à 40 mm de colonne d'eau.

Les particules de combustible projetées dans le foyer sont animées d'un mouvement giratoire et se classent aux différents niveaux suivant leur grosseur. Au fur et à mesure de leur combustion, elles deviennent plus légères et montent dans le cône. Les cendres par contre se ramollissent, s'agglomèrent et descendent dans le cône à mesure qu'elles forment des morceaux plus lourds jusqu'à échapper par l'orifice inférieur.

Pour augmenter la souplesse de fonctionnement aux diverses allures, on a placé une tuyère éclipable en prolongement de l'orifice inférieur. Pour augmenter la durée de vie des réfractaires spéciale-

ment dans le bas du cône, on y a placé parfois du carborundum ou bien un water-jacket.

Les rendements sont satisfaisants lorsque la granulométrie du charbon est convenable. L'abondance des volantes exige un bon dépoussiérage. La conduite du foyer est simple ; il existe parfois des difficultés d'évacuation des cendres fondues lorsque l'on modifie l'allure de fonctionnement.

Les combustibles utilisables sont très variés. La granulométrie 0/2 ou 0/5 convient le mieux. La teneur en cendres peut être quelconque, comme celle en humidité. Celle-ci sera limitée par les exigences de la manutention et d'une bonne dispersion dans le foyer. Une haute teneur en matières volatiles favorise l'inflammation, mais on peut très bien utiliser les anthracites.

Le foyer Stouff est le précurseur de tous les systèmes de combustion en suspension et il en est le plus simple. Son domaine d'application s'étend jusqu'aux petites chaudières multitubulaires.

Les plus grosses unités actuellement en fonctionnement sont d'une puissance de 20 millions de kcal/heure, mais il est possible d'aller plus loin. Enfin, il existe aussi plusieurs applications au chauffage des fours.

LE FOYER A MENUS FINS BRUTS (SYSTEME LEMAIRE) (4.15) (7)

M. Lemaire,

Ingénieur I.E.C., Licencié ès-Sciences.

Le foyer Lemaire se compose essentiellement :
— d'une chambre de combustion en forme de pyramide renversée, dont les faces avant et latérales sont verticales. La face arrière, par contre, est in-

clinée avec évasement vers le haut, sauf à sa partie inférieure où elle est verticale.

Les fines de charbon sont alimentées au 1/4 environ de la hauteur de la paroi arrière inclinée. Elles se dispersent dans la chambre où elles brûlent en suspension ;

(7) Résumé établi par J. Renard.

— d'une grille mécanique appelée «grille pilote», qui reçoit environ 8 à 10 % du poids total de combustible consommé.

Cette grille est située en dessous de la chambre de combustion, elle sert à l'allumage initial, à l'entretien de la combustion des fines en suspension et à la collecte de la partie du combustible (gros grains) qui s'échappe rapidement de la chambre sans avoir brûlé complètement. Ces grains pourront y terminer leur combustion.

L'air de combustion est amené presque totalement sous forte pression dans les caissons de soufflage sous grille de sorte que, sur la grille, il existe un grand excès d'air qui y favorise une combustion totale. L'air en excès et les gaz de combustion s'engouffrent ensuite dans la chambre, pyramidale où ils rencontrent les fines qui tombent par gravité. Il s'y produit une suspension pneumatique. Les particules de charbon s'élèvent au fur et à mesure de leur combustion, tandis que les cendres fondent, s'agglomèrent, tombent sur la grille et sont évacuées au cendrier. En fait, les gaz arrivant au bas de la chambre de combustion dans l'étranglement rectangulaire sont animés d'une vitesse importante dans le sens vertical. Ce mouvement se poursuit le long de la face avant verticale, mais par contre, il y a épanouissement de la veine le long de la paroi arrière dès l'amorce de la partie pyramidale.

Il s'y produit des tourbillons à axe horizontal qui s'amplifient vers le haut. En fin de détente, le lit de feu est bien stabilisé.

La combustion est fortement similaire à celle obtenue dans le foyer Stouff. On a élargi la base de la chambre et on a placé sous celle-ci une grille mécanique, ce qui augmente les frais d'investissement dans de notables proportions, surtout que l'air de combustion doit être pulsé. Cependant, l'allumage initial devient plus facile, les imbrûlés solides dans les mâchefers peuvent être réduits, la stabilité du feu est accrue et enfin la souplesse de fonctionnement est élargie. En effet, lorsque le débit d'air diminue, la proportion de grains en suspension diminue dans la chambre. Les grains retombent sur la grille où ils augmentent la quantité relative de charbon. A ce moment, le foyer tend à fonctionner comme un foyer équipé d'une grille mécanique et, comme les dimensions de celle-ci sont réduites, on peut obtenir une allure représentant le $1/8^e$ de la charge nominale.

Les remarques générales déjà signalées pour les foyers à combustion en suspension restent valables: rendements satisfaisants, importance des volantes qui nécessitent un bon dépoussiérage, usure rapide des réfractaires, possibilité d'emploi de différents charbons secondaires.

LA COMBUSTION DES ORDURES MENAGERES (4.18) (8)

P. Olmi,

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

et

P. Sulzer,

Ingénieur I.E.N.

Les ordures ménagères récoltées dans les agglomérations comportent des éléments très variables.

La composition et le poids moyen de ces éléments par habitant varie suivant le climat, le genre de population, les activités économiques locales, les saisons, les fluctuations de prospérité, les départs en vacances, etc...

Par souci d'hygiène, les ordures doivent être éliminées rapidement; les décharges exigent dans les grandes agglomérations des transports coûteux, d'où l'intérêt de détruire sur place par incinération.

Les ordures sont généralement auto-combustibles et ne laissent que des mâchefers (environ 40 % du

poids total) tout en dégageant des calories utilisables.

Le P.C.S. des ordures se situe en moyenne à 3.000 cal/kg, mais, compte tenu de la forte teneur en eau, le P.C.I. oscille entre 1.000 et 2.000 cal/kg.

Pour éviter l'extinction du feu, il faut vaporiser l'eau de constitution des ordures, soit en déversant celles-ci par petites quantités successives dans le foyer, soit en les séchant sur une sole attendant au foyer, soit dans un sécheur totalement indépendant du foyer.

Généralement l'air comburant est réchauffé, mais cette récupération est difficile par suite des températures assez basses et de la forte quantité de va-

(8) Résumé établi par J. Lorneau.

peur d'eau et de poussière contenue dans les gaz de combustion.

Un incinérateur doit avoir une grande section à la goulotte de chargement et comporter une voûte adéquate permettant la concentration du rayonnement sur la charge à allumer ; les pressions de soufflage doivent être élevées.

Les fours se divisent en diverses catégories :

— Les fours discontinus à corbeilles ; ces dernières

sont chargées en une fois et vidangées complètement après incinération ;

— les fours semi-continus, genre cubilot ; ceux-ci sont munis d'un couteau qui sépare périodiquement les mâchefers à évacuer et permet la descente des charges par à-coups ;

— les fours continus sont constituées par un ensemble de zones assurant successivement le séchage, l'allumage, la combustion et l'évacuation des cendres.

L'UTILISATION DES CHARBONS MAIGRES ET COKES DE GROS CALIBRES EN CHAUFFAGE CENTRAL (4.21) (9)

M. Bernard,

Ingénieur civil des Mines,
Ingénieur en Chef au « Gaz de France ».

L'auteur fait le point de la situation en chauffage central des appareils utilisant les charbons maigres et les cokés de gros calibres. Il attire l'attention sur les possibilités modernes en la matière, tout en examinant les disponibilités des divers combustibles solides et leurs coûts respectifs. En fait, l'auteur montre l'intérêt, devant la raréfaction des charbons anthracites, de l'utilisation des cokés 30 mm à 120 mm, dont la production augmente de plus en plus. Le développement de l'industrie sidérurgique conduit, en effet, à cokéfier des tonnages de plus en plus importants de houille et, en conséquence, à augmenter la mise à disposition des cokés calibrés.

Les chaudières traditionnelles, conçues pour l'utilisation des charbons anthracites de gros calibres, peuvent convenir pour les cokés calibrés pour autant que la puissance nominale des chaudières soit surpuissante de 30 à 50 % et que l'installation soit équipée d'un régulateur de tirage. Le pouvoir calorifique du coke étant inférieur à celui de l'anthracite, il faut en effet un volume de chambre de combustion plus important. D'autre part, le passage de l'air entre les morceaux de coke étant plus facile, il faut une étanchéité meilleure de l'appareil et des organes de manœuvre pour régler l'allure suivant la demande, surtout au ralenti.

Malgré ces possibilités, les chaudières à coke n'étaient pas très répandues à cause des obligations fréquentes d'entretien du feu, d'un rendement et d'une souplesse moins bons que ceux des unités modernes à grains anthracites, à mazout ou à gaz.

Au cours des dernières années, plusieurs modèles modernes pour l'utilisation du coke ont été mis sur le marché, spécialement pour une gamme de puissances allant de 300.000 à 2 ou 3 millions de kcal/heure.

Ces unités sont caractérisées par l'adjonction d'un magasin à combustible incorporé d'une capacité suffisante pour 24 heures de fonctionnement par grand froid, par un décendrage mécanique ou automatique des cendrées et mâchefers et par une régulation automatique de l'allure de fonctionnement.

Ce dernier point doit être bien étudié à cause de la tendance du coke à poursuivre la combustion même sous un faible tirage. Généralement, ces unités possèdent trois régimes de fonctionnement : l'un qui correspond à l'allure nominale lorsque le ventilateur de soufflage est en fonctionnement ; un second, lorsque le ventilateur est à l'arrêt, ouïe ouverte, et un troisième régime de grand ralenti lorsque le ventilateur est arrêté et l'ouïe bien obturée. Ce ralenti peut être réglé à volonté, mais manuellement suivant la position de fermeture de l'ouïe. C'est le cas de la chaudière française Nordon SD et de la chaudière hollandaise Emma. La chaudière allemande Strebel, par contre, ne fait appel qu'au tirage naturel, mais réglé par des registres à commande automatique placés dans les boîtes à fumées.

En Belgique, l'utilisation du coke est peu répandue dans le domaine du chauffage central, probablement à cause des disponibilités du pays en anthracites et aussi de l'absence de telles unités sur le marché.

(9) Résumé établi par J. Renard.

LES RECENTS MATERIELS AUTOMATIQUES DE CHAUFFAGE AU CHARBON (4.22) (9)

P. Bertrand,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

La communication a pour but de dégager l'évolution qui s'est manifestée en France au cours des dernières années dans le domaine des générateurs de chauffage automatiques à charbons de petits calibres et de décrire les innovations récentes.

Cette évolution est caractérisée par les objectifs suivants :

— augmenter l'automatisme du chargement et du déchargement des appareils ;

— augmenter les possibilités d'emploi des charbons de petits calibres et leur catégorie. La mécanisation dans les mines libère une plus grande quantité de charbons de petits calibres et les charbons à haute teneur en matières volatiles constituent la grande partie des réserves de combustible. On cherche donc à mettre sur le marché des chaudières polycombustibles ;

— augmenter la puissance unitaire des générateurs pour satisfaire les besoins des vastes groupes immobiliers, de plus en plus répandus et généralement chauffés par des chaufferies centrales de grande puissance.

Parmi les réalisations nouvelles, on peut signaler :

— l'équipement des chaudières classiques à grande chambre de combustion par un brûleur à charbon à vis sans fin avec prise automatique du combustible en soute suivant les besoins de chauffage ;

— la mécanisation du déchargement par manœuvre manuelle d'un levier extérieur qui commande le déplacement d'une sole mobile ou de poussoirs. Les mâchefers sont ainsi basculés dans un récipient hors du feu, mais à l'intérieur de la chaudière. Ils sont généralement enlevés au cycle suivant de déchargement, après leur refroidissement ;

— la chaudière Provence, dont le ventilateur souffle l'air total dans un capotage étanche qui entoure toute la chaudière, avant de servir à la combustion. Cette disposition nécessite des doubles portes au chargement et au ramonage, mais la chaudière est ainsi séparée de l'ambiance par un matelas d'air avec les avantages suivants : suppression des refoulements, suppression des pertes à l'ambiance, meilleur rendement ;

— la chaudière Emma-Socomas conçue pour la combustion des grains maigres, analogue à la chaudière Emma à cokes décrite dans la communication précédente. Des essais concluants ont montré que cette chaudière pouvait s'adapter avec de légères modifications à l'utilisation des charbons maigres d'un calibre varié de 0 à 120 mm et aussi à celle

des charbons gras classés, même avec des teneurs en cendres élevées. Cette dernière possibilité devient intéressante pour les chaufferies importantes, lorsque l'on peut automatiser l'alimentation et le déchargement ;

— la chaudière VATC qui caractérise bien l'évolution en cours par son automatisme complet et son aptitude à brûler une large gamme de combustibles tant en calibres qu'en catégories ou caractéristiques des cendres. La combustion est réalisée sur une sole plane, alimentée en combustible à partir d'un magasin supérieur. La descente du combustible dans le foyer se fait par un couloir vertical où le charbon descend par gravité s'il n'est pas cokéfiant, sinon par un poussoir d'alimentation à commande automatique. La combustion est entretenue par un ventilateur aspirateur, situé à la sortie de l'échangeur à faisceaux tubulaires. L'air primaire entre dans le foyer par une tuyère et l'air secondaire par deux conduits sous la sole. Une forte dépression est ainsi entretenue dans le foyer, favorisant une bonne turbulence et une grande vitesse des gaz de combustion à travers le faisceau tubulaire. Il en résulte un excellent échange calorifique. Les volantes sont éliminées dans un collecteur de fumée situé à la suite du faisceau tubulaire.

Devant la tuyère d'admission d'air, un poussoir de déchargement à commande automatique provoque, par un mouvement horizontal de va-et-vient, l'avancement progressif des cendres et mâchefers sur la sole jusqu'à évacuation et l'alimentation en combustible sur l'emplacement ainsi dégagé.

Les poussoirs sont à commande hydraulique réglée par une horloge qui totalise les heures de marche du groupe aspirateur.

Cette chaudière est construite actuellement pour une gamme de puissance allant de 350.000 à 1 million de kcal/heure ;

— la chaudière Anthratube-Socomas, dérivée de la chaudière Anthratube Américaine, mais modifiée pour permettre une utilisation rationnelle des charbons anthracites européens. Le modèle américain nécessite en effet des charbons à cendres peu fusibles et peu courants en Europe.

Cette chaudière complètement automatique est construite dans la gamme des petites puissances et convient spécialement pour les grains 5/10 et 6/12 anthracites.

Le générateur comporte une trémie réservoir à charbon de faible capacité, alimentée régulièrement et automatiquement par un transporteur à hélice intérieure à axe creux. Le combustible s'écoule par

(9) Résumé établi par J. Renard.

gravité dans le foyer sur une sole pleine. L'air de combustion est aspiré par un ventilateur. Cet air se divise en deux parties, l'une qui sert d'air primaire traverse horizontalement toute la zone de feu, l'autre qui sert d'air secondaire passe sous la sole et vient se mélanger aux gaz de combustion à l'arrière de la zone de feu.

Les gaz chauds passent dans un échangeur annulaire où ils prennent un mouvement hélicoïdal

qui permet leur dépoussiérage. Le décendrage est réalisé par un sabot poussoir animé d'un mouvement horizontal de va-et-vient qui pousse les cendrées et mâchefers vers l'avant. Le décendrage est commandé par une came placée sur la vis d'alimentation en charbon. Toutefois, un thermostat placé sous la grille et soumis au rayonnement du bas du foyer suspend le mouvement du poussoir, tant que la température y dépasse une certaine valeur.

ETUDE D'UN GENERATEUR DE CHAUFFAGE CENTRAL POLYCOMBUSTIBLE EN FONTE (4.23) (9)

M. Yribarren

L'évolution des conditions d'approvisionnement des foyers domestiques impose des solutions nouvelles pour compléter les solutions classiques.

On est ainsi amené à rechercher la mise sur le marché de chaudières polycombustibles, qui devraient répondre aux conditions suivantes :

- utilisation d'une gamme variée de combustibles, notamment les charbons anthracites, maigres, flambants, les cokes et les semi-cokes dans les calibres compris entre 5 et 50 mm ;
- puissance calorifique de 50.000 à 150.000 kcal/h ;
- autonomie de marche pendant 24 heures pour les conditions extrêmes ;
- automaticité aussi complète que possible.

Ce programme est bien réalisé actuellement par les chaudières modernes pour ce qui concerne les cokes et les charbons anthraciteux. Il s'agit du foyer en couche mince, grille inclinée et trémie-magasin qui alimente la combustion par gravité.

Les difficultés à vaincre se situent spécialement dans l'utilisation des charbons à haute teneur en matières volatiles :

- l'alimentation en air de combustion doit être différente ;
- sur la grille, il se forme des voûtes et des trous d'air ;
- l'alimentation en combustible peut s'enrayer par une cokéfaction à la base du magasin ; enfin, le feu peut s'étendre à la réserve.

Il est apparu naturel de prendre ces réalisations modernes comme point de départ pour les adapter à l'utilisation des charbons à haute teneur en matières volatiles.

Les essais ont montré que le point essentiel à résoudre était de réaliser une localisation rigoureuse de la zone en ignition. S'il existe entre la zone de combustion vive et la trémie une zone intermédiaire dans laquelle s'établit un gradient de température, on assiste à un développement naturel de l'agglutination, qui empêche l'alimentation régulière du foyer, et peut-être à l'extension du feu dans la trémie.

Cette constatation a conduit à écarter l'adjonction de barrières froides ou chicanes, qui ont généralement un effet contraire à celui espéré. On s'est dirigé avec succès vers la réalisation de dispositifs permettant de régler avec précision le niveau et la répartition des pressions dans toute l'enceinte du générateur pour tous les stades d'évolution du feu et pour toutes les allures de fonctionnement.

Le premier point fut de régler le tirage dans la chambre de combustion à une valeur faible et stable. Pour cela, on a adopté un tirage mécanisé. L'air secondaire fut aussi amené dans la chambre à une pression très faible, son débit ne pouvant varier que dans des proportions assez faibles mais suffisantes. Quant à l'air primaire, il ne pouvait pas être fourni uniquement par l'air atmosphérique. En effet, si la résistance au passage de l'air à travers la grille varie, il en résulte très rapidement une importante variation de la dépression dans le foyer et le niveau et la répartition des pressions sont rapidement modifiés. C'est pourquoi l'alimentation en air primaire et en air secondaire fut assurée par un ventilateur qui, en même temps, alimente l'éjecteur permettant de réaliser un tirage induit.

C'est ainsi que l'on a pu localiser exactement le feu pour toutes les conditions de fonctionnement et éviter les ennuis majeurs signalés ci-avant.

La Société Chappée a réalisé une chaudière suivant ces indications et les résultats obtenus sont très satisfaisants.

(9) Résumé établi par J. Renard.

LA REGULATION DE L'EMISSION CALORIFIQUE DES CHAUDIERES (4.24) (9)

E. Bodmer,

Ingénieur E.P.Z.

Les buts de la régulation de l'émission calorifique des chaudières de chauffage central sont :

— d'assurer le confort thermique des habitants par la stabilité de la température résultante dans les locaux ou plus simplement la température sèche de l'air ;

— de réaliser une économie de combustible en adaptant le régime de fonctionnement des chaudières, la température du fluide chauffant et l'émission des corps de chauffe aux besoins instantanés de chauffage ;

— de remédier aux imperfections de la conduite manuelle des installations qui ne peut répondre aussi parfaitement et aussi rapidement aux exigences du confort et du rendement ;

— de remplir un rôle de sécurité, en empêchant un fonctionnement dangereux de l'installation.

Le problème de la régulation consiste à contrôler la température de l'air des locaux en agissant sur l'émission calorifique des chaudières. Une sonde extérieure ou intérieure détecte les fluctuations de la température et traduit les modifications constatées en une énergie qui commande le régulateur de l'émission calorifique.

Le système de régulation de l'émission calorifique des chaudières peut être :

— « par tout ou très peu », lorsque la commande provoque la mise en activité totale du foyer ou sa mise en veilleuse ;

— progressif, lorsque la commande peut imposer au foyer des fonctionnements à toutes les allures comprises entre l'allure nominale et la veilleuse ;

— par impulsions, lorsque le régulateur enregistre la tendance de variation de la sonde extérieure ou intérieure. La variation du régulateur est lente et ne se poursuit que si le déséquilibre de la sonde persiste pendant un temps suffisamment long. Le régulateur tend vers une position d'équilibre et le foyer fonctionne comme pour le système progressif.

Le réglage de l'émission calorifique se fait généralement en agissant sur la température de l'eau en circulation pour les chaudières à eau chaude et en agissant sur la pression de vapeur ou en émettant des trains de vapeur à pression constante de plus ou moins longue durée pour les chaudières à vapeur basse pression.

Dans le cas des chaudières à charbon, il faut donc agir sur l'alimentation en charbon et l'alimentation en air de combustion. Le système adopté est pratiquement toujours « par tout ou très peu », ce qui donne satisfaction car, dans les foyers automatiques, le combustible est brûlé sous une couche d'épaisseur constante et il suffit de régler une fois pour toutes les débits d'air et de charbon suivant les caractéristiques du combustible utilisé pour le fonctionnement à allure maximum. Lorsque le foyer est en veilleuse, la consommation est très faible et le rendement n'a pratiquement pas d'influence.

Dans les foyers à alimentation du charbon par gravité, il suffit d'agir uniquement sur les discontinuités du débit d'air. Le charbon alimentera automatiquement le foyer suivant l'avancement de la combustion. L'accumulation des cendrées et mâchefers peut modifier, après un certain temps, les conditions de fonctionnement et leur évacuation manuelle est nécessaire à intervalles réguliers pour maintenir des conditions moyennes similaires. Si le déchargement est automatique, il est évidemment possible de maintenir des conditions de fonctionnement plus régulières et donc améliorer encore la combustion.

Dans certains foyers, l'alimentation en combustible se fait par un mécanisme qui peut être le même ou indépendant de celui qui commande l'air de combustion. Il faut alors faire un réglage préalable des débits d'air et de charbon suivant la qualité de celui-ci. Certains de ces foyers sont dotés de dispositifs de réglage automatiques du débit d'air en fonction du débit de charbon en tenant compte de la résistance opposée à l'air par la couche en ignition. Un dispositif de ce genre est réalisé par un registre, placé sur l'ouïe d'aspiration du ventilateur et qui se déplace automatiquement suivant la résistance rencontrée par l'air dans le foyer.

Pour réduire l'émission calorifique en régime de veilleuse, un dispositif analogue est parfois utilisé pour obturer complètement l'ouïe du ventilateur.

Si le temps de fonctionnement en veilleuse est assez long, dans certaines installations il est parfois fait usage d'un dispositif automatique d'entretien du feu, commandé soit par la température des fumées, soit par une minuterie.

Enfin, il est souvent utile d'équiper les chaudières de chauffage d'un régulateur de tirage, ce qui permet d'agir avec plus de précision sur le débit d'air de combustion.

LA FLAMME DE CHARBON PULVERISE DANS LES FOURS ROTATIFS A CIMENT (4.26) (10)

A. Folliot

La première partie « Description sommaire d'un four rotatif à ciment » est très bien rédigée, sous forme concise, parfaitement claire et qui ne pourrait être reprise qu'in extenso.

Cette description se rapporte aux cimenteries françaises où l'on utilise couramment les charbons à 20 - 25 % de M.V. et 20 - 25 % de cendres.

Dans les cimenteries belges, on utilise des charbons dont la teneur en M.V. est souvent nettement inférieure à 15 %, très cendreuse, et même parfois en partie des schistes de terrils à 30 - 40 % de carbone.

La finesse de broyage doit être poussée dans ce cas à 90 - 94 % passant au tamis de 4.900 mailles, et non 80 à 90 % comme le cite le rapporteur.

Pour ce qui concerne « Tuyère et air primaire », l'exposé déjà résumé qui s'y rapporte pourrait être complété dans le cas des cimenteries belges.

Les fours modernes belges comportent des tuyères télescopiques et orientables par rapport à l'axe du four dans le but de pouvoir situer au mieux la flamme dans la zone de combustion.

Le rapporteur souligne avec raison que c'est en fait le cuiseur qui conduit le four et qui estime l'opportunité d'un changement de réglage d'après l'examen visuel de l'intérieur du four, du comportement et de l'état de ramollissement de la matière.

Les appareils de conduite automatique sont pratiquement inapplicables et seule une série d'appareils de contrôle aide à juger de l'état d'équilibre du four.

Le rapporteur ne le dit pas, mais cette situation résulte du fait que la matière n'arrive pas dans la zone de cuisson d'une façon régulière et que le cuiseur doit faire face, soit à une diminution de la quantité de matière, soit à des « avalanches » dans la zone de cuisson où il est nécessaire de maintenir l'équilibre thermique.

La partie relative à « L'étude scientifique de la transmission de chaleur de la flamme à la matière » constitue une contribution intéressante à la technique de combustion.

Le rapporteur signale qu'il était admis il y a quelques années qu'aux températures de 1400 à 1500° C, la transmission de chaleur se fait essentiellement par rayonnement, la part de la convection n'excédant jamais 10 %.

Afin d'étudier les phénomènes qui s'y passent et comme le four constitue une capacité complètement close et tournante, des ouvertures ont été pratiquées sur un four tournant de moyenne puissance, qui ont permis de relever les températures dans les différentes zones et de dresser les courbes données dans le texte.

Ces expériences ont permis de conclure que le facteur d'émission était voisin de l'unité.

Les résultats obtenus ne concordent pas avec ceux donnés par le calcul classique du facteur d'émission, soit une valeur de 0,4 très inférieure à la valeur mesurée.

La Société du rapporteur a jugé intéressant de s'associer aux travaux consacrés à IJmuiden à l'étude du rayonnement de la flamme. Ces études ont confirmé que le facteur d'émission était très élevé et que le flux rayonné augmente lorsque la quantité d'air primaire diminue. Or, la pratique des fours à ciment prouve qu'en même temps que diminue l'air primaire et croît l'énergie rayonnée, diminue la production du four : autrement dit, la chaleur cédée par la flamme décroît.

Le rapporteur conclut : Ce résultat évidemment paradoxal n'est pas isolé : nous savons que des constatations analogues ont été faites sur le four Martin. S'il est en contradiction avec nos idées actuelles, il n'y a pas lieu de s'en désoler : il peut être, au contraire, à la source d'études dont les conséquences classiques seront importantes pour l'utilisation plus rationnelle de nos combustibles.

EVOLUTION DU CHAUFFAGE DES FOURS CERAMIQUES
PAR LES COMBUSTIBLES SOLIDES (4.27) (10)

J. Massie Y.E.,

Ingénieur E.N.S.C.I.,

Ingénieur à la Société Française de Céramique.

La céramique, une des plus vieilles industries connues, nécessite un fort appoint d'énergie sous forme de combustible, et cela spécialement pour la cuisson.

Les températures à obtenir varient dans d'assez fortes limites, suivant qu'il s'agit de faïence, de poterie, de produits sanitaires, de grès ou de porcelaine.

La température optima varie également suivant qu'il s'agit de pâte, d'émail ou de décor.

(10) Résumé établi par J. Lorneau.

Il existe différents types de fours, les premiers encore fort répandus et appelés fours intermittents, ensuite les fours à feu mobile et actuellement les fours tunnels, de plus en plus utilisés.

Le charbon est, soit chargé dans les alendiers des fours, soit utilisé au moyen de foyers automatiques à vis, soit transformé en gaz par l'intermédiaire de gazogènes plus ou moins perfectionnés.

Des enquêtes statistiques effectuées de 1953 à 1956, il ressort que la production n'a fait qu'augmenter, mais que la consommation en charbon est restée plus ou moins constante, tandis que celle des autres combustibles, à savoir le fuel-oil, l'électricité ou le gaz, a presque doublé pendant cette période.

En 1953, la consommation en charbon représentait 82 % de la consommation totale en combustible dans cette industrie. En 1956, elle n'était plus que de 69 %.

Si l'on examine les causes de régression d'utilisation du charbon, il convient tout d'abord de noter

que, dans l'industrie céramique, la main d'œuvre intervient pour environ 60 % dans le prix de revient et les industriels tendent tout spécialement à réduire les frais de personnel en rendant automatique le plus grand nombre possible d'opérations.

Le charbon est malheureusement désavantagé vis-à-vis des autres combustibles, quel que soit le point de vue auquel on se place, soit manutention, soit qualité des produits, soit propreté des usines.

D'autre part, le chauffage au gaz de gazogène, plus intéressant que le chauffage direct au charbon, n'a pas pris d'extension, étant donné que l'industrie céramique est extrêmement divisée et constituée de petites unités.

La situation pour les fournisseurs de charbon n'est pas désespérée, mais ces derniers devraient collaborer avec les utilisateurs en vue de revoir tout spécialement les principes de la manutention du charbon.

LES FINES DE HOUILLE DANS LA FABRICATION DES PRODUITS DE TERRE CUITE (4.28) (10)

V. Bodin

L'industrie des produits de terre cuite nécessite une importante consommation de calories pour le séchage et la cuisson.

La teneur en eau du produit plastique avant séchage se situe entre 20 et 30 % sur sec.

La température de cuisson est de l'ordre de 900 à 1000° C, mais peut dans certains cas atteindre 1200° C. Avec le charbon apparaît la cuisson en meule, avec toutefois comme résultat de cuisson beaucoup de briques fendues, déformées ou incuites.

Le four continu à feu mobile constitua un énorme progrès en permettant des productions plus considérables et en réduisant la consommation. Breveté en 1870 par Hoffmann, ce four réalise une double récupération, l'air de combustion étant réchauffé sur les produits en refroidissement et les fumées étant refroidies au contact des empilages frais qu'elles chauffent.

Depuis 25-30 ans, ces fours sont habituellement équipés d'appareils d'alimentation automatique utilisant des fines grasses.

Actuellement, il existe des fours tunnels pouvant également être alimentés en charbon et de préférence sous forme de grains lavés au moyen de foyers automatiques à vis ou même de grilles.

Le séchage qui précède la cuisson nécessite de l'air chaud, les fumées en provenance des fours sont à déconseiller en raison des tâches et efflorescences qu'elles font apparaître sur les produits.

Une certaine récupération sur les fours est cependant possible : le complément de calories provient d'un appareil producteur d'air chaud, pouvant être équipé également de foyers automatiques à charbon.

En résumé, les fours de cuisson à feu mobile continuent à être un débouché intéressant par l'utilisation de fines lavées 0 - 10, 0 - 15, 0 - 20, à longues flammes et à faible teneur en cendres et dont le P.C.I. est de l'ordre de 7.000 calories.

Commentaires.

L'auteur s'attarde sur les fours Hoffmann alors que progressivement ceux-ci sont remplacés par des fours tunnels plus économiques et chauffés, soit au charbon avec des foyers automatiques à vis, soit aux huiles lourdes.

(10) Résumé établi par J. Lorneau.

LA CONDUITE AUTOMATIQUE DES FOYERS DE GRANDE PUISSANCE (5.02) (11)

P. Sénéchaut et R. Chaussard,

Ingénieurs à l'Electricité de France.

Les auteurs de cette communication rappellent, dans leur introduction, que la conduite automatique de la chauffe contribue à la possibilité d'installer du matériel de puissance unitaire de plus en plus

élevée. Ils indiquent succinctement les principes et les modes de réglage employés à l'Electricité de France, le texte étant complété par des schémas des différentes combinaisons employées.

TABLEAU I.

Paramètre à régler	Paramètre réglant	Organe commandé	Observation
Niveau de l'eau dans les chaudières	Action combinée du niveau et de l'écart des débits d'eau et de vapeur	Vanne d'alimentation - vitesse des pompes alimentaires	Asservissement des impulsions des commandes de chacune des pompes
Combustion a) Débit de charbon	Débit de vapeur et pression de la vapeur surchauffée	Vitesse des distributeurs de charbon	Asservissement des impulsions de chacun des distributeurs L'humidité du charbon peut apporter des perturbations à ce réglage — L'emploi de détecteur de manque de débit de charbon n'est pas au point.
b) Air primaire	Débit de vapeur et pression de la vapeur surchauffée	Registre d'air primaire	
Air de combustion	Rapport débit de vapeur au débit d'air corrigé par la teneur en oxygène des fumées	Registre d'air ou ventilateur à variations d'aubes ou variateur de vitesse	La correction par l'oxygène est délicate à cause de l'encrassement des prises et des conduites de gaz
Dépression du foyer	Déprimomètre	Variation de l'inclinaison des ventelles du ventilateur de tirage	
Température de surchauffe de la vapeur	Action combinée de la température de la vapeur surchauffée et du débit de combustible	Vanne d'injection de l'eau de désurchauffe	Les auteurs estiment que la salissure de la vapeur par l'eau injectée n'est plus à craindre compte tenu de l'excellence de l'eau d'appoint actuellement obtenue.
Resurchauffe	Température de la vapeur de resurchauffe et débit du combustible	— Inclinaison des brûleurs et vanne d'inject. d'eau — On emploie aussi des registres de répartition des fumées traversant le surchauffeur et le désurchauffeur — ou le recyclage des fumées	

Ces combinaisons font usage des trois modes de réglage : action proportionnelle, action d'arrivée et action intégrale.

Quand les engins d'alimentation des chaudières (soit pompes alimentaires, soit broyeurs, etc...) doivent être mis en parallèle, il y est ajouté des dispositifs d'asservissement afin d'assurer leur stabilité de marche.

Le tableau I qui précède précise quelque peu les généralités ci-dessus.

Parlant de l'évolution de la conduite de chauffe automatique, les auteurs, tout en signalant que l'appareillage est souvent délicat, pensent que l'introduction des machines électroniques dont la mise au point est en cours, permettra l'établissement automatique quasi intégral du contrôle et de la surveillance des installations, y compris l'établissement du bilan.

* * *

Cette perspective d'avenir amène, semble-t-il, le commentaire suivant :

L'automatisme vise en fait le personnel de conduite : pompiers, chauffeurs, manutention des combustibles, wattmen.

Ce personnel va tendre de plus en plus à des degrés divers vers des fonctions de surveillance des tableau et pupitres de plus en plus fournis.

Il devra toutefois pouvoir reprendre à tout instant la conduite manuelle des engins dont l'automatisme serait en difficulté et il aura à conserver de ce fait toutes ses connaissances techniques actuelles, avec la différence que la fréquence d'utilisation sera très réduite. Ce seront en fait des connaissances à l'état potentiel. Leur information en usine aura peut-être à tenir compte de cette situation.

En outre, la complexité de plus en plus grande des circuits automatiques entraînera des exigences accrues de clarté dans la disposition des appareils et dans la facilité de recherche et d'élimination des défauts de l'appareillage automatique.

La main-d'œuvre qui s'occupera du montage et de l'entretien devra être de plus en plus soigneuse, attentive et de qualité quant à sa formation technique.

L'automatisme ne va-t-il pas créer à brève échéance des problèmes de formation des techniciens et des ingénieurs actuellement en place ? On ne peut que louer à cette occasion la création d'un enseignement post-universitaire tel qu'en a organisé la Faculté Polytechnique du Hainaut à Mons, en accord avec l'Institut Belge de Régulation et d'Automatisme. L'orientation vers des séances de spécialisation par groupe d'industries serait peut-être souhaitable, les problèmes de régulation des chaudières, par exemple, intéressant moins les spécialistes des machines-outils et vice versa.

LES ESSAIS DES CHAUDIERES DE CHAUFFAGE (5.03) (12)

Professeur G. Burnay

(Université de Liège).

Le souci de ménager les disponibilités de combustible a favorisé ces dernières années, et particulièrement au lendemain de la guerre, la recherche d'une meilleure utilisation. L'un des moyens pour atteindre ce but consistait à améliorer les chaudières de chauffage, dans leur rendement autant que dans leur souplesse de fonctionnement, qui commande leur adaptation aux conditions particulières de service dans les divers types d'installations. Des essais systématiques de chaudières ont été exécutés, qui ont permis de déterminer pour chacun des appareils examinés la puissance dans tout le domaine d'utilisation et le rendement thermique correspondant ; ces essais ont été à l'origine d'une amélioration générale de la qualité et de l'économie des chaudières offertes sur le marché belge.

L'expérience acquise au cours de dix années de travaux orientés dans cette voie au Laboratoire de Thermodynamique de l'Université de Liège a servi de base à la rédaction d'une norme nationale — NBN 234 — applicable aux essais en laboratoire ; elle permettra bientôt l'élaboration de prescriptions complémentaires, relatives à certains régimes particuliers de fonctionnement.

L'essentiel de l'exposé de Monsieur le Professeur Burnay vise à l'étude critique des méthodes et des moyens mis en œuvre dans de pareils essais ; il dégage ceux qui, passés au crible de l'expérience, ont été choisis ou recommandés en vue d'obtenir des résultats complets et précis. La nécessité d'y exercer un esprit critique constamment en éveil, avec le souci d'améliorer sans cesse la précision et la sécurité des mesures imposées et des appareils qui les fournissent, sont parfaitement mis en évidence, par une analyse détaillée des causes d'erreurs inhérentes à chaque méthode.

(11) Résumé établi par J. Godfroid.

(12) Résumé établi par E. Buchet, Assistant à l'Université de Liège.

Deux méthodes s'affrontent en effet pour résoudre le problème posé, selon qu'il s'agit de déterminer le rendement ou la puissance.

La *méthode directe* consiste à mesurer, d'une part, l'accroissement d'enthalpie du fluide chauffé, d'autre part, la détermination de l'énergie disponible dans le combustible utilisé. Ceci nécessite la connaissance du pouvoir calorifique du combustible, mais exige aussi la mesure délicate du poids de combustible effectivement consommé. C'est un inconvénient sérieux, s'il s'agit de déterminer le rendement avec quelque précision.

La *méthode indirecte* est en fait basée sur le bilan thermique de l'essai, qui exprime l'équivalence entre l'énergie disponible au foyer — libérée par la combustion, — et la quantité de chaleur utile augmentée des différentes pertes : chaleur sensible des fumées, imbrûlés gazeux et solides, échanges avec l'ambiance... La détermination des pertes permet de chiffrer avec précision le rendement, tout en échappant largement à la nécessité d'évaluer la quantité de combustible effectivement consommé. En revanche, le calcul de la puissance utile de la chaudière à partir de ces résultats serait souvent entaché d'erreur.

Dans le cas particulier des combustibles solides, la consommation effective est particulièrement difficile à déterminer pour les motifs suivants :

- il est malaisé d'obtenir et de contrôler l'identité des états initial et final de la couche de charbon en ignition dans le foyer ;

- cet inconvénient est d'autant plus grave que la capacité en combustible du foyer est souvent importante par rapport à la consommation entre dégrassements consécutifs ;

- les opérations de dégrassement et de chargement sont difficilement reproductibles.

La prolongation de la durée d'essai ne résout pas ce problème. D'autre part, l'essai sur pont de pesage introduit d'autres causes d'erreurs évidentes, quelles que soient les précautions prises.

Au terme d'une analyse approfondie de ce problème, on est inéluctablement conduit à la conclusion qu'il s'impose en général de déterminer soigneusement par les mesures faites tous les postes du bilan thermique, le bouclage de ce bilan donnant accès à la consommation effective de combustible, qui fournira par recoupement avec les observations faites une indication de la précision obtenue par l'ensemble des opérations.

Cette importante partie de l'exposé est suivie d'indications générales précieuses sur les dispositions à prendre afin de contrôler les conditions opératoires aussi parfaitement que possible et d'effectuer les mesures requises dans des conditions correctes et sûres : dissipation de la chaleur utile en circuit fermé, avec mesure du débit et des températures en cause, complétées chaque fois d'une mesure de recoupement ; calcul de la perte à l'ambiance à partir d'un relevé systématique des températures superficielles au massif de la chaudière, etc. Les mesures nécessaires pour la détermination de chacun des postes du bilan thermique sont passées en revue et analysées successivement, en vue de dégager les caractères essentiels de recommandations adéquates.

Il faut mentionner que l'activité du Laboratoire de Liège s'étend aux chaudières à combustible liquide. Un programme en cours de développement cherche à définir les dispositions à recommander au cours des essais en marche intermittente, dans le cas des foyers spéciaux à dégrassement automatique, etc, compte tenu des dispositifs utilisés pour la régulation et l'automatisme du fonctionnement.

LES ESSAIS DES GENERATEURS DES CENTRALES THERMIQUES (5.03 bis) (12)

Professeur G. Burnay

(Université de Liège).

La seconde communication a trait aux essais de générateurs de vapeur. Les principes qui ont été dégagés précédemment peuvent être utilement considérés dans le cadre de cette question. Bien que disposant de documents et d'une expérience pratique plus limitée en ce domaine, l'auteur a pu, en mettant en parallèle les deux méthodes générales directe et indirecte, énoncer une série d'idées directrices et de remarques judicieuses qui sont de nature à réduire la marge d'incertitude résiduelle,

concernant les résultats des essais de générateurs de centrales thermiques. Cet objectif ne pourra être atteint qu'avec le souci constant de maîtriser tous les éléments du bilan, en réduisant toutes les causes d'erreurs et en détectant toutes les défaillances des appareils de mesure utilisés.

Ici encore, l'établissement du bilan complet évite de masquer au moyen d'un poste « pour balance » des erreurs parfois graves commises dans l'évaluation de l'un ou l'autre poste.

La comparaison des deux méthodes d'essais appelle les remarques suivantes :

(12) Résumé établi par E. Buchet, Assistant à l'Université de Liège.

— il est moins facile et plus impérieux encore de bien délimiter le système, relié à des circuits plus complexes de gaz et de vapeur avec échangeurs multiples et parfois recyclages ;

— les imbrûlés solides sont plus diversifiés et doivent être évalués en fractions séparées ;

— les imbrûlés gazeux sont souvent inexistants, mais il faut le vérifier ;

— la consommation de combustible peut être inaccessible, ou dans d'autres cas mesurable avec une précision meilleure que pour les chaudières de chauffage ; on n'échappe cependant pas à certaines incertitudes, notamment en ce qui concerne la capacité thermique du foyer ;

— le débit du fluide chauffé relève de mesures plus délicates pour une même précision.

Il convient de noter ici que le rendement énergétique du générateur devra être pris en considération, ce qui implique l'examen approfondi des ca-

ractéristiques de son fonctionnement interne. D'autres problèmes posent d'ailleurs des exigences du même ordre, tels : l'analyse du rendement en marche discontinue, le contrôle de stabilité de la régulation, etc... dont l'examen doit être entrepris conjointement à l'exécution des essais.

* * *

Monsieur le Professeur Véron, Président de ces Journées a tenu à souligner l'originalité de cet exposé d'un projet pourtant presque classique, « renouvelé » par l'auteur sur deux points essentiels :

— l'énonciation très claire des principes des deux méthodes « qui n'avaient jamais été mis en évidence de manière aussi lumineuse... »

— les recoupements systématiques des mesures essentielles, et l'introduction de « tronçons de mesure » adéquats préalablement étudiés.

LES PROBLEMES DE CORROSION DES ACIERS PAR LES ATMOSPHERES DE COMBUSTION AUX TEMPERATURES ELEVEES (5.05) (13)

J. Moreau,

Ingénieur-Docteur,
Ingénieur à l'I.R.S.I.A.

Lorsqu'un métal est mis en présence d'une atmosphère gazeuse à haute température, de nombreuses réactions superficielles peuvent se produire séparément ou simultanément, parmi lesquelles, en premier lieu, les réactions d'oxydation ; c'est à celles-ci que se heurtent les industries transformatrices et utilisatrices. Il ne faut cependant pas négliger les réactions par les atmosphères sulfureuses, oxydantes ou réductrices, la carburation ou la décarburation.

L'exemple pratique de corrosion est le calaminage des aciers au cours du réchauffage nécessaire avant laminage ou forgeage.

L'auteur examine deux cas.

I. — Calaminage des lingots.

Les essais ont porté sur le réchauffage des lingots de qualités différentes dans des fours Pits chauffés au gaz de haut fourneau. Il se forme pendant le réchauffage une couche de calamine due, en grande partie, à l'oxydation superficielle et qui est fonction des temps de chauffage et d'égalisation.

La calamine présente une différence de compacité entre les régions en contact avec l'atmosphère et celles proches du métal. Alors que la première est très brillante et très compacte, la seconde est poreuse et friable.

(13) Résumé établi par J. Lorneau.

En plus des oxydes Fe_2O_3 - Fe_3O_4 et FeO , on rencontre, dans la couche profonde, de grosses inclusions de fayalite Fe_2SiO_4 qui provient de la couche d'impuretés non métalliques silicatées provenant de la lingotière.

II. — Calaminage des billettes.

Des essais ont été faits sur un acier Martin mi-dur dont des billettes ont été envoyées aux différentes usines participant aux essais.

L'examen des calaminages a attiré l'attention sur la possibilité de nombreuses réactions au sein du métal en dehors de la formation de toute calamine externe. Parmi ces réactions, l'auteur en a étudié deux : la contamination interne et la décarburation.

1) Contamination interne.

Sous la couche de calamine externe, il apparaît une précipitation d'oxyde dont l'aspect varie suivant l'épaisseur.

Il est à signaler que seuls les fours chauffés au mazout donnent naissance à des inclusions sulfurées nombreuses. D'autre part, on constate que plus la pression partielle d'oxygène dans le four est faible, plus l'épaisseur de la couche interne est importante ; parallèlement, plus la pression d'oxygène est élevée, plus la calamine externe est épaisse.

2) Décarburation.

Parallèlement à la contamination, le réchauffage d'un acier dans une atmosphère de combustion, même faiblement oxydante, peut conduire à une décarburation superficielle notable.

D'après les essais réalisés, il semble que le pouvoir oxydant de l'atmosphère influe assez peu, seules la température et la durée de réchauffage sont déterminantes.

L'auteur conclut en attirant l'attention sur la complexité du phénomène de corrosion ; en dehors de la calamine bien connue, on devra tenir compte de la contamination du métal sous-jacent et de sa décarburation par l'oxygène. L'utilisation d'atmosphère contrôlée pourra peut-être s'appliquer très prochainement dans le domaine particulier du réchauffage.

Commentaire.

L'auteur a étudié le phénomène de corrosion des aciers, lors du réchauffage, par des essais effectués sur des fours chauffés au gaz, au mazout ou au charbon.

Il conclut en attirant l'attention sur l'intérêt d'utiliser des atmosphères contrôlées dans le cas du réchauffage.

Il convient de faire remarquer que l'auteur n'a pas fait mention d'un nouveau type de four : le four chauffé par résistors électriques et qui permet de réchauffer les aciers dans une atmosphère réductrice et réduisant ainsi pratiquement à zéro l'oxydation et la décarburation du métal.
