

COMMUNAUTE EUROPEENNE
DU CHARBON ET DE L'ACIER

HAUTE AUTORITE

RECUEILS DE RECHERCHE CHARBON

TECHNIQUE MINIERE
VALORISATION DU CHARBON
COMBUSTION DU CHARBON

COMBUSTION DU CHARBON

RECUEIL N°
2

Aux termes de l'article 55, alinéa 2c), du traité instituant la Communauté européenne du charbon et de l'acier, la Haute Autorité encourage la recherche intéressant le charbon et l'acier, notamment en accordant des aides financières. La présente brochure rend compte de l'exécution et des résultats de l'un de ces projets de recherche.

AVANT-PROPOS

La concurrence du charbon avec les combustibles liquides et gazeux exige que les appareils de chauffage au charbon soient d'un service aisé, si possible automatique, et possèdent un rendement élevé.

Il ne faut plus s'attendre à des améliorations considérables dans le domaine de la construction des foyers parce que les possibilités de recherche et de développement sont limitées chez les producteurs et les utilisateurs de foyers et d'appareils de chauffage domestique. Les efforts des producteurs et utilisateurs portent sur le perfectionnement progressif des appareils existants plutôt que sur la recherche de procédés et installations nouveaux. De surcroît, la construction de foyers évolue depuis des dizaines d'années dans des voies tracées à l'avance.

Seule une recherche visant à élucider les relations fondamentales physiques et physico-chimiques de la pyrolyse et de la combustion pourra fournir de nouvelles bases pour la mise au point de procédés et appareils améliorés.

Les recherches effectuées par le Centre d'études et recherches des Charbonnages de France (CERCHAR), à Paris, dont la présente brochure rendra compte des résultats, ont été entreprises dans ce dessein.

K.M. HETTLAGE

RECHERCHES SUR LA COMBUSTION DU CHARBON

Rapport technique final

Les recherches poursuivies avec l'aide financière de la Haute Autorité ont pour objectif général d'accroître nos connaissances de base sur la combustion qui reste encore le mode d'utilisation le plus important du charbon. Cet élargissement de nos connaissances devrait conduire, sur le plan pratique, à une utilisation plus rentable du charbon et à une amélioration de sa position concurrentielle vis-à-vis des combustibles liquides et gazeux.

Les recherches concernent trois grands domaines :

- la combustion en couche fixe de petits calibrés, avec circulation de l'air et du charbon à contre-courant, qui s'applique au cas des petites chaudières de chauffage dites "automatiques",

- la combustion en couche fixe sur grille mobile au cours de laquelle le lit de charbon progresse perpendiculairement au courant d'air soufflé. C'est le cas des foyers pour petite et moyenne industrie,

- la combustion du charbon pulvérisé qui s'applique aux grosses unités de production d'énergie.

I. COMBUSTION EN COUCHE FIXE AVEC CIRCULATION A CONTRE-COURANT DU CHARBON ET DE L'AIR; POT-FOYER EXPERIMENTAL

1. But de l'étude :

Le développement rapide, au cours des dix dernières années, des foyers mécaniques à grains pour le chauffage et la petite industrie, a mis en lumière l'insuffisance de nos connaissances sur certains phénomènes qui se développent au cours de la combustion; le comportement des cendres dans les foyers est l'un de ces processus mal connus.

Sous l'effet de la température et du milieu, les matières minérales sont le siège de transformations chimiques et physiques complexes qui peuvent provoquer de graves difficultés dans la conduite des foyers. Pour certains, le bon fonctionnement est lié à la formation de mâchefers bien vitrifiés et fortement agglomérés, mais néanmoins perméables à l'air (foyers à décrassage discontinu); pour d'autres au contraire il faut éviter une fusion trop poussée et ne pas dépasser le stade d'un fritage modéré (foyers à décrassage continu par pousoir).

Ainsi le comportement des matières minérales au cours de la combustion joue, dans ce type de foyer, un rôle déterminant et nous nous sommes tout spécialement préoccupés au cours de notre étude, de cet aspect particulier de la combustion en couche fixe.

La possibilité d'obtenir des mâchefers présentant la structure souhaitée dépend a priori de la fusibilité des matières minérales du charbon et des températures localement atteintes dans la couche, facteurs qui dépendent à leur tour de la nature du combustible, de sa granulométrie, de l'épaisseur de la couche en combustion, du débit d'air soufflé, lequel est lié à la puissance demandée, et de la répartition de cet air dans le lit. Au cours de notre étude, nous avons cherché à préciser les relations qui existent entre ces différents paramètres et la structure prise par les résidus minéraux.

2. Appareillage; méthodes :

L'appareillage utilisé (figure 1) est essentiellement constitué par un pot-foyer cylindrique de 30 cm de diamètre intérieur, à paroi latérale réfractaire, qu'un rechargement semi-continu permet de maintenir plein du combustible en essai pendant toute la durée de l'expérience, au volume près occupé par les cendres dont la grille spirale utilisée empêche le tamisage. Le débit d'air est maintenu constant et on a prévu la possibilité de procéder à des mesures de température en couche et à des prises de gaz à différents niveaux.

On compare les structures des couches cendreuses produites par la combustion de divers charbons, en essayant d'interpréter les différences observées à partir des propriétés des combustibles qu'on peut définir au laboratoire : on aidera ainsi à la sélection des combustibles qu'on doit utiliser dans les appareils commerciaux, compte tenu du mode de décrassage prévu. L'analyse des observations faites doit, en outre, suggérer les modifications d'appareillage qui permettront d'améliorer les performances et de faciliter l'évacuation des résidus de la combustion. Enfin, sur un plan un peu plus théorique, les mesures faites au sein des couches (températures, composition des gaz) permettront de préciser nos connaissances sur le déroulement de la combustion d'une couche alimentée "à contre-courant" en air et en combustible.

D'un point de vue pratique, les caractéristiques essentielles du lit de cendres formé sont : le volume apparent de ces cendres, leur cohésion mécanique et leur perméabilité au passage de l'air. A ces trois caractéristiques nous faisons correspondre :

- un "indice d'encombrement" qui est le volume occupé in situ par les cendres de l'unité de masse de combustible consommé,

- un "indice de friabilité", défini de façon empirique comme le pourcentage de la masse des résidus qui est ramenée à une granulométrie inférieure à celle du charbon d'origine par passage, dans les conditions standard, sur un tamis vibrant,

- l'accroissement relatif moyen de la pression sous grille pendant une période donnée de la combustion après formation d'une première couche de cendres dans le pot-foyer.

On a surtout étudié l'influence de la nature du combustible (fusibilité des cendres, "réactivité") et du débit d'air soufflé. Onze combustibles ont été examinés sous forme de calibrés 6-10 mm et sous une épaisseur de couche de 10 cm : 8 maigres et anthracites, un coke, un semi-coke et un flambant sec.

Au cours d'essais complémentaires, ont été également examinés :

- l'influence de la granulométrie,
- l'influence de l'épaisseur de la couche en combustion,
- le comportement de mélanges de charbons présentant des différences de fusibilité de cendres très marquées.

3. Travaux effectués; résultats :

Au premier janvier 1962, la construction et la mise au point de l'appareillage étaient terminées et huit charbons en grains 6-10 mm avaient été examinés sous une épaisseur de couche de 10 cm.

Au cours des années 1962 et 1963 on a poursuivi les essais de grains 6-10 mm en couche de 10 cm sur quatre autres combustibles et on a entrepris les essais complémentaires portant sur la granulométrie, l'épaisseur de couche et les mélanges.

L'ensemble du programme expérimental qu'on s'était fixé a été achevé à la fin de l'année 1963. Les résultats obtenus ont été exposés en détail dans un document intérieur du CERCHAR (1). Un exposé plus succinct mais néanmoins complet a été présenté aux Journées de la combustion et de la conversion de l'énergie (2). Nous en résumerons l'essentiel :

Les essais ont permis de caractériser les mâchefers par leur "degré de scorification" (volume spécifique apparent des résidus) et leur "perméabilité"; on a pu vérifier que, dans l'ensemble et au moins pour les charbons naturels, les températures maximales relevées dans la couche pour un même degré de scorification sont d'autant plus élevées que les cendres du charbon se révèlent moins fusibles au test de laboratoire.

L'utilisation pratique des tests de fusibilité reste néanmoins très délicate et pleine d'aléas parce que la "nature" des matières minérales ne représente pas le seul facteur qui gouverne les phénomènes de scorification.

Ainsi, quand différents charbons sont brûlés dans les mêmes conditions (d'allure, de granulométrie, d'épaisseur de couche), les températures maximales relevées dans la couche peuvent présenter des écarts importants qui changent les conditions de la scorification; dans l'ensemble on relève des températures d'autant plus élevées que le combustible est moins "réactif".

L'épaisseur de couche joue également un rôle qui apparaît surtout important pour les valeurs inférieures à environ dix fois le calibre moyen des grains. En s'amincissant, la couche dissipe davantage de chaleur par rayonnement et se refroidit; en outre la masse de matières minérales en fusion est soumise à une charge plus réduite qui contribue également à augmenter le volume apparent des mâchefers.

La granulométrie des grains semble par contre n'avoir qu'une influence assez faible sur la scorification, au moins tant qu'il s'agit de petits calibrés bien classés comportant peu de fines.

La façon dont les matières minérales sont réparties et dispersées dans les grains de combustible paraît avoir une influence importante sur la formation et les propriétés des mâchefers; bien que nous n'ayons pu préciser ce point, nous pensons que l'aptitude particulière des coques à donner des mâchefers s'explique par la répartition très homogène des cendres dans la masse de carbone. Nous avons également noté une nette différence de comportement entre les charbons laissant par combustion

lente un résidu pulvérulent et ceux qui laissent dans les mêmes conditions un résidu nettement chistifié et hétérogène. Dans le premier cas, l'accroissement de l'allure de combustion est marqué par le passage rapide des résidus minéraux de l'état pulvérulent à l'état fortement scorifié; dans le second cas, on observe une évolution beaucoup plus progressive.

La "perméabilité" à l'air des mâchefers n'est pas directement liée au "degré de scorification" tel que nous l'avons caractérisé au moyen du volume spécifique apparent ou de la cohésion mécanique des résidus; pour une part très importante, elle dépend de la poussée mécanique que l'air soufflé exerce sur la masse de résidus en fusion; plus cette poussée est forte au moment de la scorification plus il y a de chance d'obtenir un mâchefer de bonne perméabilité. On peut dire que, dans l'ensemble, les charbons à cendres peu fusibles, dont la scorification exige une allure de combustion très vive, donnent des mâchefers toujours perméables quel que soit le degré de scorification obtenu; par contre les charbons à cendres aisément fusibles, avec lesquels la scorification a lieu à allure modérée, ont tendance à donner des mâchefers peu perméables à l'air. On a noté également que les charbons laissant après combustion lente un résidu pulvérulent et relativement homogénéisé ont tendance à donner des mâchefers moins perméables que les charbons dont les matières minérales ont une structure fortement schistifiée et hétérogène.

Nous considérons maintenant l'étude générale comme terminée mais nous conservons l'installation pour l'examen de cas particuliers; l'essai en pot-foyer apporte en effet beaucoup plus d'informations utilisables que le simple test en laboratoire car :

- il respecte beaucoup mieux les conditions de scorification dans les foyers réels quels qu'ils soient, et laisse jouer librement tous les facteurs qui influencent le phénomène (réactivité du charbon, mode de dispersion des matières minérales, granulométrie, etc.),

- il permet d'apprécier certaines propriétés des mâchefers particulièrement importantes en pratique comme leur "perméabilité" à l'air.

L'examen complet d'un charbon en pot-foyer présente par contre l'inconvénient d'exiger un travail important et long. Cependant, envisagé comme simple test de comparaison et de sélection des charbons nous pensons que cet examen peut être simplifié et réduit à deux essais seulement : l'un, effectué dans la plage de débits d'air où les différences de volume et de cohésion des résidus sont les plus marquées (débit d'air de l'ordre de 200 kg/m² h), l'autre, dans la plage où la présence des mâchefers oppose la résistance la plus grande au passage de l'air (débit d'air de l'ordre de 400 à 450 kg/m² h).

II. COMBUSTION EN COUCHE FIXE SUR GRILLE MECANIQUE AVEC DEPLACEMENT DU CHARBON PERPENDICULAIREMENT AU COURANT D'AIR SOUFFLE

1. But de l'étude :

Le but de l'étude était de préciser le comportement sur grille mécanique des principaux types de charbons tant au cours de la phase d'inflammation, qu'au cours de la phase de combustion; l'intérêt pratique attendu des résultats était triple :

- faciliter la sélection des charbons destinés à un type de grille déterminé,

- faciliter l'adaptation des foyers en service aux divers types de charbons qu'on peut être conduit à y utiliser,

- donner aux constructeurs de grilles et de foyers des informations techniques leur permettant de concevoir, pour les principales catégories de charbons commerciaux, des grilles plus spécialisées, plus simples donc moins onéreuses que les grilles actuelles.

2. Appareillage; méthodes :

Dans le dispositif expérimental que nous avons adopté, nous nous sommes efforcés de reproduire aussi fidèlement que possible les conditions d'inflammation d'une grille réelle, sans pour cela sacrifier la précision du contrôle et des mesures et la reproductibilité des phénomènes étudiés. Pour cela nous avons utilisé un foyer expérimental à grille fixe dans lequel le mouvement relatif du charbon par rapport à la chambre de combustion et aux veines d'air soufflé a été reproduit en rendant mobiles ces derniers éléments, habituellement fixes.

Ceci a été réalisé de la façon suivante (figure 2) :

La grille (1) de 2,50 m de longueur totale, 0,5 m de large, est constituée de barreaux pleins en fonte de 9 mm d'épaisseur, espacés de 2 mm, et supportée par un bâti métallique (2). Les rives (3) qui l'entourent sont garnies d'éléments en béton réfractaire de 10 cm de hauteur.

L'air est distribué sous la grille au moyen de 4 caissons : de droite à gauche sur la figure, c'est-à-dire dans le sens de propagation du feu, on rencontre deux caissons (4) et (4') de 0,5 x 0,5 m de section chacun, dits "caissons de préparation" qui servent à l'allumage et à la mise en régime; vient ensuite un caisson dit "caisson de mesure" (5) de 1 m de long, divisé dans le sens de la longueur en 14 compartiments par des tôles verticales équidistantes. C'est dans la partie de la grille à l'aplomb de ce caisson que sont effectuées les mesures, analyses et observations prévues pour chaque essai. Enfin, un quatrième caisson (6) dit "caisson finisseur", analogue aux caissons de préparation, a pour but d'assurer la progression du front d'inflammation au delà du caisson de mesure.

Le caisson de mesure est alimenté en air par un ventilateur indépendant capable de fournir 650 m³N d'air à l'heure sous une pression de l'ordre de 1 m CE. Cet air est réparti également entre 14 dériviations dont chacune le dirige soit vers un compartiment du caisson de mesure, soit, par l'intermédiaire d'une chandelle, à l'atmosphère. Les 14 dériviations sont rigoureusement identiques; elles comportent chacune un diaphragme calibré destiné à répartir également entre elles le débit d'air soufflé par le ventilateur et un dispositif à double obturation qui permet de diriger l'air soit vers le compartiment correspondant du caisson de soufflage, soit vers l'atmosphère. Le dispositif à double obturation peut être commandé soit manuellement soit automatiquement comme nous le verrons plus loin.

A l'intérieur des compartiments, des précautions sont prises pour absorber l'effet dynamique de l'air introduit et assurer une pression uniforme sous tout l'élément de grille correspondant.

L'alimentation des caissons de préparation et du caisson finisseur est assurée selon le même principe, à partir d'un ventilateur commun.

Pour assurer une étanchéité convenable entre les compartiments du caisson de mesure, les barreaux disposés à l'aplomb des cloisons de séparation sont pourvus de petites bavettes latérales entre lesquelles vient s'emboîter le bord supérieur des cloisons.

Pour l'étude de l'inflammation et de la combustion en "chambre chaude", l'installation a été complétée par une voûte mobile à parois réfractaires (7) montée sur un chariot dont les roulettes (9) posées sur les rails (10) permettent de le déplacer d'une extrémité à l'autre de la grille, à différentes vitesses. Cette voûte dont les parois réfractaires (11) et (12) présentent une inertie thermique importante, est portée à haute température avant l'essai, au moyen du foyer auxiliaire (15).

Lorsque dans son déplacement de droite à gauche, la voûte parvient au-dessus du caisson de mesure, elle actionne les dispositifs à double obturation des 14 dériviations d'air, provoquant ainsi l'alimentation en air des compartiments successifs qu'elle recouvre. Un réglage permet de déclencher le soufflage avec un retard de 1,2 ou 3 largeurs de compartiment, par rapport à l'arête intérieure du rebord avant de la voûte.

Le chariot portant les éléments réfractaires est refroidi par circulation d'eau; pour éviter l'échauffement prématuré du charbon, une "arche froide" à circulation d'eau (14) en protège la surface avant qu'il ne pénètre sous la chambre mobile. Une cheminée (13) assure l'évacuation des gaz de combustion.

La longueur recouverte par les surfaces intérieures radiantes de la chambre est de 0,75 m.

Les principales grandeurs retenues pour caractériser le comportement de chaque charbon ont été :

- 1 - L'allure spécifique moyenne obtenue. Elle est exprimée par la masse du combustible sec brûlée dans l'unité de temps sur l'unité de surface de grille et par l'équivalent calorifique de cette masse.
- 2 - La durée de propagation de l'inflammation, c'est-à-dire le temps nécessaire pour la mise en combustion complète d'une tranche verticale de combustible. L'inflammation est déclenchée à la surface du lit par le rayonnement des parois chaudes de la chambre; la durée de propagation de l'inflammation est calculée à partir de la vitesse verticale à laquelle le phénomène se propage ensuite vers les couches profondes. Cette vitesse définit la forme du front d'inflammation; elle dépend surtout du débit d'air soufflé, tendant seulement à plafonner aux plus forts débits utilisés pour le combustible gras et le flambant de Provence; elle varie moins nettement suivant la nature du charbon qu'on ne le pense généralement et apparaît pratiquement indépendante des autres paramètres de l'étude. La durée d'inflammation correspond à une première phase de la combustion, au cours de laquelle l'épaisseur de couche en réaction est croissante.
- 3 - La durée totale de combustion et l'excès (ou de défaut) d'air global qui lui correspond. Pour caractériser la vitesse de combustion, nous avons défini les "pouvoirs gazéificateurs de l'air" comme la masse du combustible gazéifiée en moyenne par l'unité de masse d'air au cours de chacune des deux phases de la combustion. Au cours de la première phase, le pouvoir gazéificateur varie considérablement avec la nature du charbon : il est 1,6 fois plus élevé en moyenne avec les flambants qu'avec le maigre et le gras. Pendant la deuxième phase, ce sont les combustibles agglutinants qui sont défavorisés, de façon particulièrement nette aux faibles allures de combustion.
- 4 - Le taux d'imbrûlés recueillis dans les cendres une fois la combustion terminée.
- 5 - Le rapport de la pression maximum relevée sous la grille au cours de la combustion à la pression sous la couche crue avant essai a été retenu comme la propriété essentielle de la courbe traduisant la variation de la résistance du lit au passage de l'air primaire. C'est cette courbe qui indique les difficultés qu'on rencontre en pratique pour éviter la sous-alimentation en air de certaines zones de feu, et la localisation du maximum est une information importante.
- 6 - Enfin, la température maximum atteinte par les barreaux de la grille semble significative de la résistance aux effets thermiques exigée de l'appareillage. Elle varie de façon considérable avec le type de combustible utilisé et croît quand on réduit le débit d'air, c'est-à-dire la puissance demandée.

Au cours de l'ensemble des essais, une quinzaine de charbons différents ont été utilisés, couvrant toute la gamme, des maigres aux flambants secs. On a fait varier largement le calibre (depuis les fines grenues 0-20 mm demi-grains, jusqu'à des calibrés 15-35 mm) et l'épaisseur de la couche (6 à 15 cm).

Dans une première étape, le débit d'air soufflé a été limité à 2 000 kg/m² h; après modifications du circuit de soufflage il a pu être ensuite porté à 2 750 kg/m² h.

3. Travaux effectués; Résultats :

Antérieurement au 1er janvier 1962 une première campagne d'essais portant sur cinq charbons calibrés avait été achevée. Au cours de cette campagne le débit d'air avait été limité à 1 500 kg/m² h.

Deux types d'essais avaient été effectués :

- des essais en ambiance "froide" (sans parois rayonnantes) où fut étudiée pour les différents charbons, l'influence du calibre (3-6 mm; 6-10 mm et 10-20 mm) et de l'épaisseur de couche (6 cm et 10 cm).

- des essais avec parois rayonnantes où l'on s'est limité à une épaisseur de couche (10 cm) et à deux calibres (3-6 et 10-20 mm).

Les résultats de cette première campagne ont fait l'objet d'une publication dans la Revue générale de Thermique (3). On peut en dégager les conclusions pratiques suivantes :

- nécessité d'une suralimentation en air dans la zone médiane avec compartimentage sous grille efficace pour les combustibles maigres;

- intérêt d'une suralimentation dans la zone d'inflammation avec compartimentage plus simple pour les charbons à haut pouvoir agglutinant;

- nécessité d'un dessin de voûte adapté à l'effet cherché, qui varie suivant le type de combustibles utilisé;

- intérêt d'une limitation de la hauteur des couches de petits calibres de charbons maigres avec augmentation corrélative de la vitesse de grille, dans la mesure où l'inflammation superficielle pourra être maintenue à l'entrée de la chambre;

- intérêt avec les charbons du type "flambant gras" d'utiliser des allures spécifiques élevées, celles-ci s'accompagnant d'une nette amélioration de la combustion par réduction de l'excès d'air et accroissement du pouvoir gazéificateur.

Cette campagne d'essais sur "charbons types" terminée, nous avons commencé l'examen de charbons de qualité commerciale, fournis par les Bassins. Les premiers essais, effectués sur des fines demi-grasses du Nord - Pas-de-Calais, ont fait apparaître l'importance du facteur "humidité" dans le comportement de combustibles de ce type; trop sèches, les fines s'enflamment irrégulièrement et brûlent mal à cause de leur mauvaise perméabilité à l'air.

Au cours des années 1962-1963 et 1964 les essais ont été poursuivis avec des débits d'air pouvant atteindre 2 750 kg/m² h. On s'est surtout attaché à l'étude des flambants gras et des gras; pour ces deux catégories de charbons, on a étudié plus particulièrement l'influence de l'épaisseur de couche et, pour les flambants gras, l'influence du calibre.

L'ensemble des résultats obtenus fera l'objet d'un compte rendu d'ensemble, actuellement en cours de rédaction; une synthèse des enseignements de caractère pratique tirés de ces essais sera également rédigée en vue d'une large diffusion auprès des constructeurs et des techniciens de la chauffe au charbon. On peut néanmoins dès maintenant, résumer les enseignements les plus saillants de la façon suivante :

L'étude des conditions dans lesquelles s'effectue la combustion des différents charbons, conduit à concevoir au moins deux grands types de grille et pour chaque type, plusieurs variantes dans les conditions d'utilisation.

Le premier type, adapté aux charbons non agglutinants ou faiblement agglutinants, est caractérisé par un compartimentage soigné et assez serré du caisson de soufflage d'air, avec alimentation directe et préférentielle des compartiments médians situés sous la région du lit en combustion la moins perméable. Les compartiments latéraux, correspondant à des régions plus perméables du lit, seront de préférence alimentés par prélèvement direct sur les compartiments médians, avec lesquels ils communiqueront par des ouvertures réglables.

On obtiendra ainsi une répartition correcte de l'air et une combustion active dans la zone centrale où, du fait de l'épaisseur de la couche en ignition, l'allure de gazéification peut être la plus élevée.

Pour aider à l'obtention de cette répartition de l'air, il est indiqué de limiter la hauteur de couche et de donner à la grille une largeur suffisante pour réduire l'importance des effets de rive.

Cette disposition conduit à réaliser les variations d'allure en maintenant constante la longueur du lit en combustion et en réduisant le débit d'air à peu près proportionnellement au débit de charbon, mais de façon uniforme sous toute la partie active de la grille.

Selon la nature du charbon à utiliser, ce type de grille et son foyer pourront comporter deux séries d'aménagements possibles :

- pour les charbons maigres :
 - = voûte arrière très développée,
 - = retard de soufflage assez long,
 - = faible débit d'air secondaire.
- pour les flambants secs :
 - = courte voûte avant,
 - = fort débit d'air secondaire.

Le deuxième type de grille, adapté aux charbons fortement agglutinants (demi-gras, flambants gras, gras), sera conçu pour l'alimentation directe et préférentielle en air primaire des compartiments de tête du caisson de soufflage, de façon à assurer une décroissance régulière de la pression sous grille, d'avant en arrière.

Cette disposition permettra d'alimenter correctement en air la zone d'inflammation, qui tend à devenir la zone à perméabilité apparente minimale quand les propriétés agglutinantes du charbon s'accroissent.

On réduira alors l'importance des phénomènes d'agglutination qui prennent naissance dans cette zone en augmentant la vitesse de combustion devant la vitesse d'inflammation.

Pour empêcher un développement exagéré des phénomènes de cokéfaction, on cherchera en outre à échauffer et à enflammer le combustible le plus rapidement possible en tête de grille en réduisant au minimum le retard de soufflage; on prévoira au besoin une arche froide pour empêcher les remontées de feu dans la trémie et les risques de cokéfaction prématurée.

Pour réduire les dimensions des cokes formés, on aura aussi intérêt à adopter une vitesse de grille aussi élevée que possible de façon à allonger au maximum la zone d'inflammation dans le sens longitudinal de la grille.

Cependant cette augmentation de vitesse ne devra pas être acquise au prix d'une réduction trop marquée de l'épaisseur de couche car les pertes en imbrûlés solides s'en trouveraient augmentées et, à la limite, la vitesse de gazéification pourrait être ralentie.

On est donc conduit, surtout dans le cas des charbons gras dont la vitesse de combustion est plus faible et pour lesquels les influences de l'épaisseur et de la vitesse sont plus marquées que dans le cas des flambants gras, à concevoir des grilles de grand allongement. Il est facile de voir aussi, d'après ce qui précède, que les charbons les plus agglutinants brûleront le plus correctement dans les installations de grande puissance.

La nécessité de maintenir toujours une allure de combustion élevée en tête de grille conduit à effectuer les variations d'allure par variation de la longueur du lit; le raccourcissement du feu sera obtenu en fermant les orifices d'alimentation des caissons arrière; pour réduire l'alimentation en charbon, il faudra simultanément diminuer soit la vitesse de grille, soit la hauteur de couche. Au moins dans le cas du flambant gras on pourra jouer uniquement sur la vitesse de grille dans une large gamme de puissance.

L'influence du développement des parois radiantes dans le foyer sur le taux en imbrûlés solides n'est pas apparue aussi nettement qu'on pouvait s'y attendre. En fait, il semble qu'une voûte d'inflammation relativement courte peut suffire, pourvu que l'aérodynamique des flammes et le mode de répartition de l'air primaire permettent d'éviter un refroidissement trop rapide de la zone arrière du lit.

Avec le charbon gras, il faut également prévoir une forte augmentation du débit d'air primaire (50 % de plus que pour le flambant gras, à allure spécifique comparable).

Dans le cas des fines agglutinantes, le débit d'air soufflé en tête est limité par l'importance des envols; de même la faible perméabilité des couches de fines crues conduit à limiter l'épaisseur du lit sous peine d'obtenir une inflammation irrégulière de la couche. On devra veiller à ce que l'humidité des fines au moment de l'emploi soit suffisante pour réduire ces sujétions et permettre dans toute la mesure du possible l'adoption des réglages préconisés ci-dessus pour le cas des grains.

III. ETUDES SUR LA COMBUSTION DU CHARBON PULVERISE.

1. But des études :

Ces études poursuivent deux objectifs :

- mettre au point un essai de laboratoire qui permette de caractériser l'aptitude à l'inflammation des différents charbons; un tel essai devrait faciliter le classement des gisements poussiéreux des mines et le choix des mélanges utilisés dans les Centrales;

- préciser et expliquer le mécanisme de l'inflammation des poussières. Une meilleure connaissance de ce mécanisme devrait aider à la conception de l'essai mentionné ci-dessus; elle pourrait plus généralement nous orienter dans le choix des moyens à adopter, soit pour faciliter l'inflammation, soit au contraire pour s'y opposer.

2. Appareillage et méthodes :

a) Etude de l'aptitude à l'inflammation des différents charbons

Pour caractériser l'aptitude à l'inflammation des charbons nous avons mis au point un petit brûleur à charbon pulvérisé; l'aptitude à l'inflammation est repérée par la température de parois limite, au-dessous de laquelle la flamme ne peut plus se maintenir (extinction).

Ce brûleur est conçu pour un débit de charbon correspondant à 4 th/heure; il comprend

- une trémie à charbon. A sa base un dispositif pneumatique assure la mise en suspension du charbon dans un courant d'air pulsé;

- un mélangeur dans lequel est ajustée la proportion air primaire - charbon. La quantité d'air primaire peut varier entre 10 % et 100 % de l'air de combustion neutre;

- un four cylindrique vertical, (figure 3) chauffé électriquement, servant de chambre d'inflammation et de combustion. Ce four est pourvu d'une longue fenêtre longitudinale qui permet une bonne observation visuelle de la flamme;

- le brûleur proprement dit, comportant une arrivée axiale pour le mélange air primaire-charbon, et une introduction annulaire d'air secondaire;

- un circuit de fumées avec chambre à parois refroidies et cheminée d'évacuation.

Le four est d'abord porté à haute température de façon à réaliser une flamme stable; on relève la distance d'inflammation, par photographie, pour une valeur donnée de la température des parois. On coupe ensuite le chauffage du four et

l'on enregistre la chute de température du four en même temps qu'on observe les phases successives d'éloignement, d'instabilité puis d'extinction de la flamme. Chacune de ces phases est repérée par la température du four correspondante. La température d'extinction est retenue comme repère de l'aptitude à l'inflammation.

b) Etudes sur les mécanismes de l'inflammation

Nous avons admis, comme hypothèse de travail, que l'inflammation du charbon pulvérisé dépendait essentiellement de deux phénomènes dont le rôle respectif est plus ou moins important selon le type de combustible et les conditions d'échauffement externes auxquelles le charbon est soumis.

- d'une part, l'oxydation directe du charbon pulvérisé par l'air, par réaction hétérogène pouvant s'amorcer à température relativement basse, inférieure au seuil de dégagement des matières volatiles,

- d'autre part, la pyrolyse caractérisée par le dégagement de matières volatiles combustibles et éminemment inflammables (gaz, goudrons).

Pour étudier l'oxydation directe du charbon et caractériser sa "réactivité", nous avons repris la méthode dite du "point de croisement" due à Sébastien et Mayers que nous avons perfectionnée.

Dans le four à point de croisement un échantillon de quelques grammes de charbon finement broyé est disposé dans un petit tube de réaction vertical parcouru par un lent courant d'air; le tube est chauffé extérieurement selon un programme linéaire fixé à l'avance. Un couple thermo-électrique est immergé au centre de l'échantillon et un autre au même niveau que le premier mais à une distance de 3 mm environ.

Au cours du chauffage et tant qu'il n'y a pas réaction exothermique, le couple axial indique une température légèrement inférieure à celle du couple latéral. Lorsque la réaction exothermique s'amorce, l'échantillon s'échauffe sous l'action conjuguée de la chaleur qu'il reçoit des parois latérales et des réactions qui se développent en son sein; à un certain moment, la température de l'axe de l'échantillon rattrape la température indiquée par le couple latéral et les deux courbes de température se croisent. A ce moment, si l'échantillon est suffisamment petit, on peut considérer que les échanges calorifiques entre l'échantillon et son entourage s'annulent; par conséquent, la vitesse d'échauffement de l'échantillon est proportionnelle à la vitesse de la réaction.

La "réactivité" est caractérisée par les deux températures, θ_{15} et θ_{75} , pour lesquelles la réaction d'oxydation provoque des échauffements de $15^{\circ}\text{C}/\text{mn}$ et de $75^{\circ}\text{C}/\text{mn}$ du charbon thermiquement isolé.

L'intérêt de cette méthode est de fournir une véritable mesure des vitesses de réaction dans une gamme de températures très large. Ainsi, l'aptitude à l'inflammation peut être exprimée par deux grandeurs possédant une véritable signification physico-chimique.

L'étude de la pyrolyse et de son influence sur l'inflammation, dans les conditions d'échauffement très rapides (plus de $1\ 000^{\circ}\text{C}/\text{s}$) qui sont celles des brûleurs à charbon pulvérisé est particulièrement délicate; devant la difficulté de réaliser un appareil qui allie une reproduction fidèle des conditions d'échauffement réel, à la possibilité de repérer avec exactitude la température des particules, nous avons préféré mettre au point deux appareils distincts, mais complémentaires, réalisant chacun de façon correcte l'une de ces deux conditions :

Four à chauffage brusque par rayonnement :

Son principe est le suivant (figure 4) : un jet de charbon pulvérisé est entraîné par un courant d'azote descendant dans l'axe du tube laboratoire d'un four vertical chauffé électriquement. Il est soumis au rayonnement de la paroi du tube.

Le débit de charbon est de l'ordre de 5 à 10 g/h.

La durée de séjour du charbon dans la zone chaude est de l'ordre de 2 à 3

secondes. La température atteinte par le charbon n'est pas mesurée; on se borne à mesurer la température de la paroi du tube au moyen d'un couple appliqué contre sa surface interne.

Pour éviter que des particules de charbon et les produits de la pyrolyse ne viennent au contact de la paroi chaude du tube, celle-ci est constituée d'un matériau réfractaire poreux et elle est traversée par un courant d'azote centripète. En outre, un jet annulaire d'azote est introduit autour du jet de charbon afin de réduire l'effet des courants de recirculation. Les deux extrémités du tube sont rendues étanches par émaillage sur une longueur de 250 mm et refroidies par circulation d'eau. La longueur totale de tube est de 750 mm; son diamètre intérieur de 40 mm.

Deux variantes ont été utilisées pour recueillir les produits de la pyrolyse :

- dans la première variante, une sonde refroidie est introduite par le bas dans l'axe du tube et permet de prélever une portion du courant gazeux dès sa sortie de la zone poreuse du tube.

- dans la seconde variante, la totalité du courant gazeux est aspirée par un orifice latéral; elle traverse ensuite un condenseur et un précipitateur électrostatique; les particules solides tombent verticalement et sont recueillies à la base du four.

Avec ce four, nous avons cherché à comparer l'évolution de la pyrolyse en fonction de la température, d'une part, en atmosphère d'azote (pyrolyse pure), d'autre part, en atmosphère d'air (pyrolyse et inflammation).

Four à chauffage brusque par contact :

Dans le four précédent les conditions thermiques d'un essai ne sont connues que de façon très approximative par la température des parois et les températures vraies atteintes par les particules échappent complètement à la mesure. Nous avons recherché une autre méthode des phénomènes d'inflammation et de pyrolyse en chauffe rapide se prêtant à un enregistrement correct de la loi d'échauffement des particules et à l'établissement, avec une précision suffisante, du bilan-matière de l'opération.

Après divers tâtonnements, nous avons mis au point un petit four reposant sur le principe suivant (figure 5). Une toile métallique en nickel à mailles de 40 μ est chargée de particules de charbon; ces particules, une fois introduites la toile, est légèrement secouée, de façon à éliminer l'excès de charbon. La toile ainsi chargée est disposée dans un tube en verre et insérée dans un circuit électrique dont la tension est réglable au moyen d'un alternostat. La durée de passage du courant peut être fixée à une valeur convenue à l'avance au moyen d'un dispositif de commande électronique très précis, sensible au 1/100 de seconde (une demi-alternance). Le passage du courant provoque un échauffement rapide de la toile et du charbon dans les mailles; cet échauffement est suivi au moyen d'un couple thermo-électrique en fil de 50 μ de platine-platine-rhodié relié à un oscillographe cathodique à rémanence dont les indications sont photographiées.

L'appareil permet de porter les particules de charbon à des températures pouvant atteindre 1 000°C et plus en des temps de l'ordre du 1/5 de seconde.

Les quantités de charbon traitées à chaque essai étant très faibles (40 mg) les produits gazeux de pyrolyse sont très dilués et leur analyse doit être effectuée avec une grande précision (10 pp million).

3. Travaux effectués; résultats :

a) Etude de l'aptitude à l'inflammation par la méthode du brûleur

Au 1er janvier 1962 un premier four était en service depuis un peu plus de deux ans et avait permis une première série d'études portant sur :

- un large éventail de charbons propres, allant des anthracites aux flam-bants secs (étude de l'influence du rang)

- différents échantillons de charbons bruts, séparés en lots de teneur en cendres croissante (influence du taux de cendres)

- différents types de mélanges (maigre + gras; maigre + flénus).

Les résultats obtenus ne furent pas entièrement satisfaisants, diverses causes de dispersion rendant aléatoire la comparaison des charbons et caractéristiques voisines. Au cours de la période 1962-1964 on s'est donc d'abord attaché à réduire cette dispersion dont les causes furent recherchées de façon méthodique.

D'importantes améliorations technologiques furent apportées au four et à ses installations annexes, qui permirent de déterminer les températures d'extinction à $\pm 10^{\circ}\text{C}$ près.

Sur ce four amélioré on a repris et poursuivi les séries d'essais suivantes :

- examen d'une première série de 25 charbons propres en vue d'étudier comment varie l'inflammabilité en fonction du rang (indice de matières volatiles, rapport Hydrogène)

Carbone

- examen de différents mélanges, et comparaison de ces mélanges avec des charbons purs de même indice de matières volatiles

- examen d'une nouvelle série de charbons purs, tous maigres, destinés à compléter nos informations sur l'inflammabilité de ce type de charbons. Cet examen est actuellement en cours.

Parallèlement le four fut utilisé à la demande de différents organismes à l'examen de divers charbons commerciaux en vue d'orienter leur utilisation (schlamm du Nord-Pas-de-Calais, maigres et anthracites gallois, etc).

On a également étudié l'influence de la vitesse au brûleur sur le délai d'inflammation, la stabilité de la flamme, la température d'extinction; on a constaté qu'il n'y avait pas avantage à modifier les caractéristiques de notre brûleur.

Les résultats obtenus ont été présentés dans diverses communications (4) (5); les principales conclusions qu'on peut en tirer sont les suivantes :

- le taux de matières volatiles constitue en première approximation, une assez bonne caractéristique de l'inflammabilité des charbons; mais le brûleur expérimental permet de distinguer entre des charbons ayant le même taux de matières volatiles des différences d'inflammabilités significatives. Cette constatation justifie l'intérêt de son emploi;

- l'influence du taux de cendres sur l'inflammabilité reste faible, au moins tant que ce taux n'excède pas, pour les maigres, 30 à 35 %;

- l'inflammabilité des mélanges du type maigre-gras, ou maigre-flénu est dans l'ensemble moins bonne que celle des charbons naturels de même indice de matières volatiles. Les différences de températures d'extinction peuvent être de l'ordre de 50°C .

b) Etude de la réactivité par la méthode du point de croisement :

Au début de l'année 1962 la méthode du point de croisement était bien au point et nous n'avons eu depuis qu'à lui apporter quelques perfectionnements de détail.

Au cours des années 1962 à 1964 on a procédé systématiquement à l'étude de la réactivité de tous les charbons soumis au test d'inflammabilité par la méthode du brûleur; on cherche ainsi à voir s'il existe, au moins pour certaines classes de charbon, une étroite corrélation entre réactivité et inflammabilité.

En fait, pour les charbons à plus de 15 % de matières volatiles cette corrélation n'est pas meilleure que celle observée entre l'indice de matières volatiles et "l'inflammabilité au brûleur". Par contre, pour les charbons maigres et les anthracites il semble que l'essai de réactivité traduise beaucoup plus fidèlement "l'inflammabilité" d'un charbon que ne le fait l'indice de matières volatiles.

Un exposé complet de la méthode et des résultats a été publié dans la Revue générale de Thermique (6); ces résultats sont discutés en (5).

Pour compléter les observations précédentes, faites jusqu'ici sur un nombre assez limité de charbons, une nouvelle série de charbons maigres est en cours d'examen à la fois par la méthode du brûleur et par la méthode du point de croisement.

c) Four à chauffage brusque par rayonnements :

Les premiers essais, commencés antérieurement au 1er janvier 1962, furent effectués avec un four correspondant à la première variante : devant la difficulté d'éviter des dépôts de charbon sur la paroi du tube laboratoire, au voisinage de la sortie, on avait renoncé à prélever la totalité des produits de pyrolyse et on s'était limité au prélèvement d'échantillons dans l'axe du tube au moyen d'une sonde axiale.

La pyrolyse rapide de deux charbons, un maigre et un gras, fut étudiée par cette méthode, à différents paliers de températures de four (200 à 800°C) à la fois dans l'air et dans l'azote.

Ces essais donnèrent d'intéressantes informations qualitatives sur l'évolution de la pyrolyse et l'intervention des réactions d'oxydation; mais il ne fut pas possible d'interpréter les résultats de façon entièrement satisfaisante en l'absence de mesures massiques des différents produits de pyrolyse.

Nous avons alors modifié le four afin d'éviter complètement tout risque de dépôt de charbon sur la paroi; à cette fin, on a utilisé un tube poreux sur toute sa longueur qui a permis, après une mise au point délicate, de maintenir le jet de charbon dans une étroite zone axiale sur toute la hauteur du four.

Des essais comparables aux précédents ont été repris et se poursuivent actuellement; on recueille avec cet appareil modifié la totalité des produits de pyrolyse ce qui permet de connaître non seulement la composition de ces produits mais également leur quantité et d'établir des bilans massiques précis.

Bien que l'étude soit encore en cours, les résultats obtenus à ce jour apportent sur le rôle de la pyrolyse dans l'inflammation les précisions suivantes :

- dans le cas des charbons maigres qui donnent un dégagement de goudrons peu abondant et qui ont un seuil de pyrolyse élevé, supérieur à 500°C, les goudrons brûlent au voisinage de la surface des particules dès leur apparition. L'enveloppe gazeuse qu'ils forment autour de chaque particule ne freine que relativement peu la diffusion de l'oxygène vers la surface des particules et la réaction hétérogène peut se poursuivre. C'est elle qui jouera le rôle décisif dans l'amorçage de leur inflammation;

- dans le cas des charbons gras dont le seuil de pyrolyse est inférieur à 400°C, le dégagement de goudrons abondants entraîne la formation d'une enveloppe gazeuse qui s'oppose à la diffusion de l'oxygène vers la surface des particules. La réaction de l'oxygène à la surface de celles-ci est freinée et même arrêtée. Lorsque le mélange vapeur de goudron-air atteint la limite inférieure d'inflammabilité, ce dernier s'enflamme dès que la température est suffisante.

D'après ce schéma, l'aptitude à l'inflammation des charbons gras ne dépend pas directement de leur réactivité mais de leur comportement à la pyrolyse et plus spécialement des conditions de température dans lesquelles s'effectue, en chauffe rapide, le dégagement des goudrons.

d) Four à chauffage brusque par contact

Ce four a été utilisé à différentes fins :

- Utilisation comme inflammateur :

Par des essais successifs à températures croissantes dans une atmosphère d'air, il est possible d'observer, soit directement, soit à l'aide d'une caméra rapide, l'instant où le phénomène d'inflammation se déclenche et la température qui lui correspond. Ce type d'essai a d'abord été effectué sur trois charbons seulement,

deux maigres et un gras; nous avons observé que dans le cas du charbon gras il se forme d'abord autour du charbon un nuage abondant de matières volatiles dont les dimensions augmentent rapidement; l'inflammation s'amorce ensuite brusquement en un point de ce nuage, là où les conditions de concentration et de température favorisent le déclenchement du phénomène. Pour les maigres, on observe également le dégagement de matières volatiles autour du ruban, mais le nuage est beaucoup moins dense que précédemment; l'inflammation ne se produit plus au sein du nuage beaucoup trop dilué, mais au contact même du charbon fixé sur la toile métallique. Dans ce cas, l'inflammation paraît bien résulter de l'accélération des réactions hétérogènes gaz-solides, et la méthode de la toile métallique permet alors de préciser à quelle température se déclenche le phénomène. En fait, les essais ne sont pas rigoureusement reproductibles et l'on s'attache plutôt à déterminer la température correspondant à une probabilité donnée d'inflammation.

On a vérifié, notamment par cette méthode, que deux charbons maigres, apparemment peu différents (indices de matières volatiles voisins) peuvent s'enflammer en chauffe rapide à des températures très différentes.

On a également pu confirmer l'influence relativement secondaire du taux de cendres.

- Bilan de la pyrolyse rapide (atmosphère d'azote)

Sept charbons types ont été soumis à la pyrolyse rapide dans les conditions suivantes : vitesse de chauffe : 1 500°C/s, température maximale : 1 050°C.

Avec tous les charbons nous avons obtenu des rendements en goudrons très supérieurs à ceux que les techniques de pyrolyse conventionnelles : 15 à 17 % avec des gras à coke, plus de 25 % avec le flénu de Bruay, 20 à 23 % avec les flambants de Lorraine.

On trouvera un exposé de ces résultats dans (7) et (8).

- Seuil de pyrolyse :

Les goudrons paraissant jouer un rôle particulièrement important dans l'inflammation des charbons à indice de matières volatiles élevé, nous avons entrepris d'examiner si, pour ces charbons, il existe une corrélation entre la température à laquelle apparaissent les goudrons en chauffe rapide et l'aptitude à l'inflammation donnée par le brûleur expérimental. A cet effet, on porte des échantillons d'un même charbon à des températures croissantes, jusqu'à ce qu'on détecte la présence de goudron dans le solvant servant au lavage des parois du four après l'essai. La détection est effectuée par spectrographie UV.

On a déterminé le seuil de pyrolyse de vingt trois charbons déjà examinés par la méthode du brûleur et la méthode du point de croisement. Les résultats ont été exposés et commentés dans (5) et (7).

On a pu vérifier que, à indices de matières volatiles comparables, l'inflammabilité (méthode du brûleur) augmente quand le seuil de pyrolyse s'abaisse.

- Etude de l'évolution de la pyrolyse rapide en fonction de la température :

Il s'agit de préciser l'évolution de la pyrolyse rapide en fonction de la température maximale atteinte. On procède, comme avec le four à rayonnement, par paliers de températures et pour chaque palier on dresse un bilan massique complet; mais la faible quantité de charbon traité (40 mg) rend les analyses délicates.

L'étude, commencée au début de 1964, se poursuit sur les deux charbons (un maigre et un gras) examinés parallèlement avec le four à chauffage radiant.

CONCLUSIONS

Les études portant sur la combustion en couche fixe (pot-foyer, grille expérimentale) sont considérées comme terminées.

Les appareillages et les méthodes sont bien au point et continueront à servir à l'examen de charbons commerciaux, en vue d'orienter leur utilisation pratique : choix du type de foyer, choix des réglages, en fonction des résultats d'essais en foyers expérimentaux.

Une connaissance plus précise et plus complète des mécanismes de l'inflammation, de la combustion et de la formation des mâchefers sur grille a été acquise grâce à l'examen de nombreux types de charbons; des enseignements généraux de caractère pratique ont été dégagés qui devraient contribuer à faciliter une meilleure adaptation des foyers aux différentes catégories de charbon. Dans ce but, les résultats de ces travaux ont été déjà, pour une très large part, communiqués aux constructeurs et aux thermiciens des Houillères sous différentes formes (publications, communications, exposés, discussions directes). Les nouveaux réglages préconisés ont été appliqués à plusieurs foyers en service, notamment en Lorraine, et les améliorations constatées ont incité les thermiciens de ce Bassin à les généraliser.

Par contre, l'étude et le lancement commercial de nouveaux types de foyers plus spécialisés, plus simples et plus économiques que les foyers actuels ne paraissent pas opportuns aux constructeurs français dans la conjoncture actuelle; devant cette situation, nous pensons qu'il n'y a pas lieu d'entreprendre pour le moment les études d'application, de caractère technologique, que nous avons pensé poursuivre avec leur collaboration.

Les études sur le charbon pulvérisé ont atteint ou sont sur le point d'atteindre les objectifs fixés.

Nous disposons maintenant d'une technique expérimentale qui nous permet de caractériser de façon très valable l'aptitude à l'inflammation des charbons pulvérisés. Notre méthode dite "méthode du brûleur" est maintenant bien au point; elle a été adoptée par différents laboratoires, notamment en Grande-Bretagne et en Afrique du Sud.

Nous savons exprimer la "réactivité" par une loi physico-chimique à deux paramètres traduisant l'évolution de la vitesse de réaction gaz-solide en fonction de la température.

La méthode mise au point à cet effet, dite de "point de croisement", est passée maintenant dans la pratique courante de notre laboratoire qui l'utilise largement à des fins très diverses.

Deux méthodes originales ont été mises au point pour étudier les phénomènes de pyrolyse rapide et leur influence sur l'inflammation; les résultats obtenus conjointement par ces deux méthodes, l'essai de "réactivité" et la méthode du brûleur, ont permis de préciser l'influence sur l'inflammation du "rang" du charbon et du taux de cendres; ils ont également permis de mieux comprendre comment interviennent au cours de l'échauffement, les phénomènes de "réactivité" et de pyrolyse" et de mieux connaître leur rôle respectif dans l'inflammation de quelques types de charbon. Si un premier schéma d'ensemble des mécanismes de l'inflammation a pu être ainsi dégagé, nous considérons cependant que ce schéma repose encore sur un nombre d'essais trop réduit et de résultats parfois trop incomplets, pour constituer une interprétation rigoureuse des phénomènes réels.

Pour compléter et préciser ce schéma, l'étude de nouveaux charbons doit être poursuivie et l'analyse des phénomènes de pyrolyse rapide doit être complétée en recourant notamment à des bilans massiques plus précis et plus nombreux.

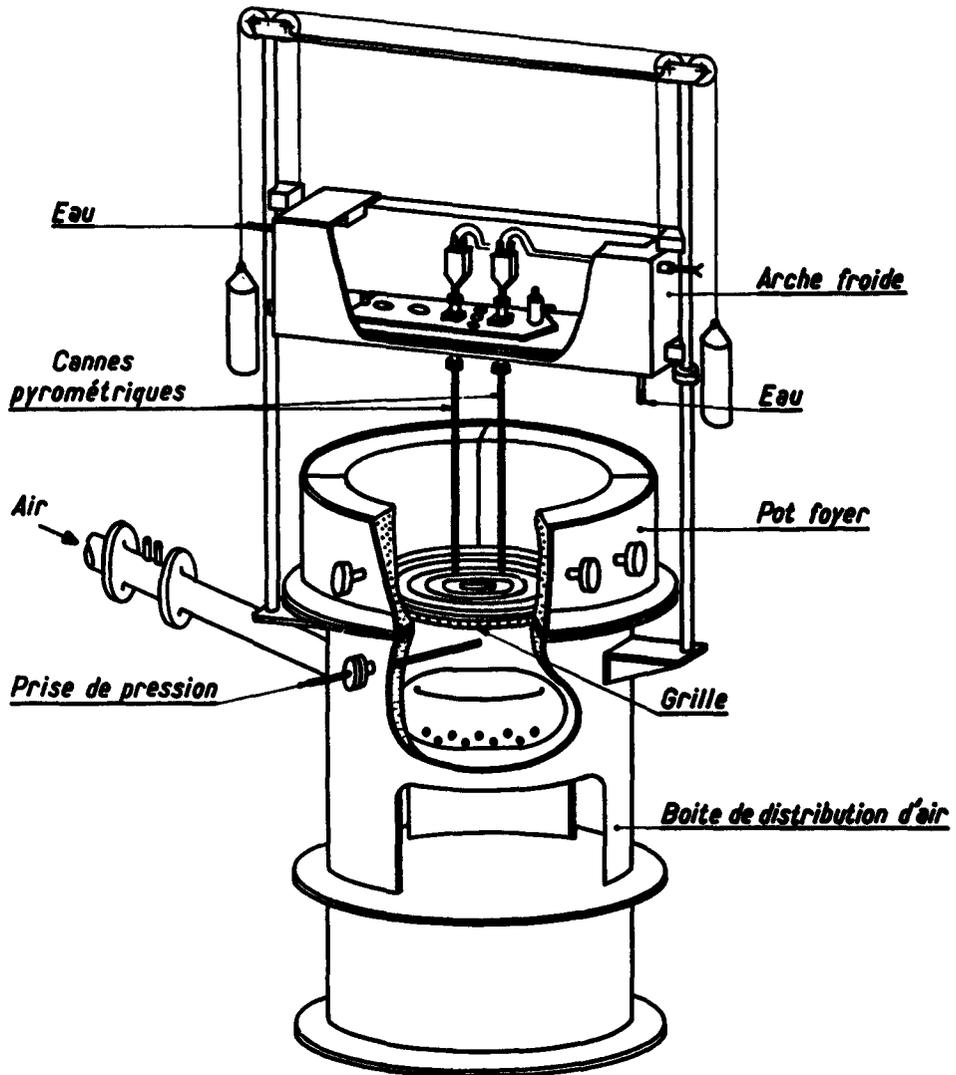


Fig.1. POT-FOYER OUVERT A ARCHE FROIDE

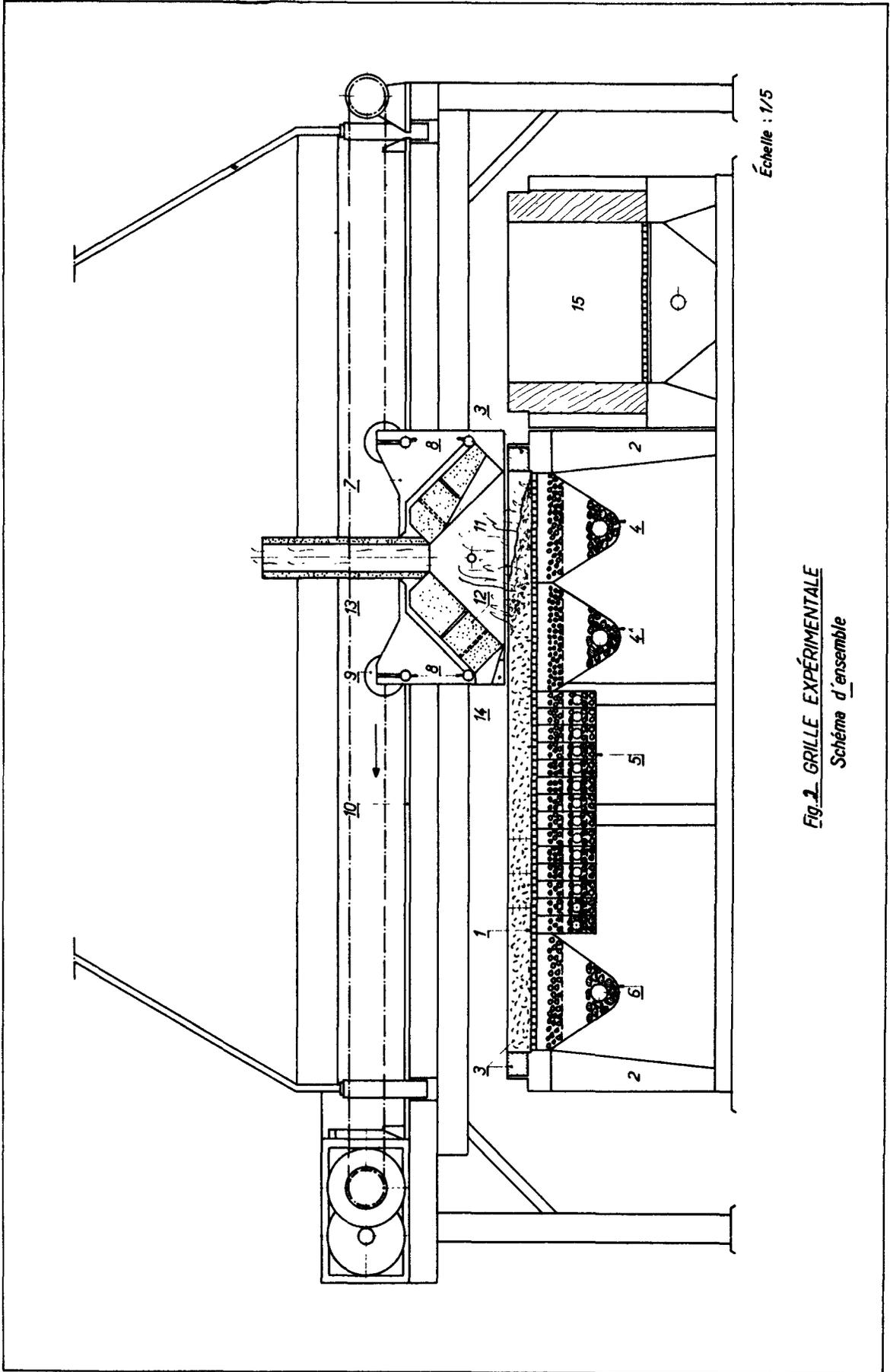
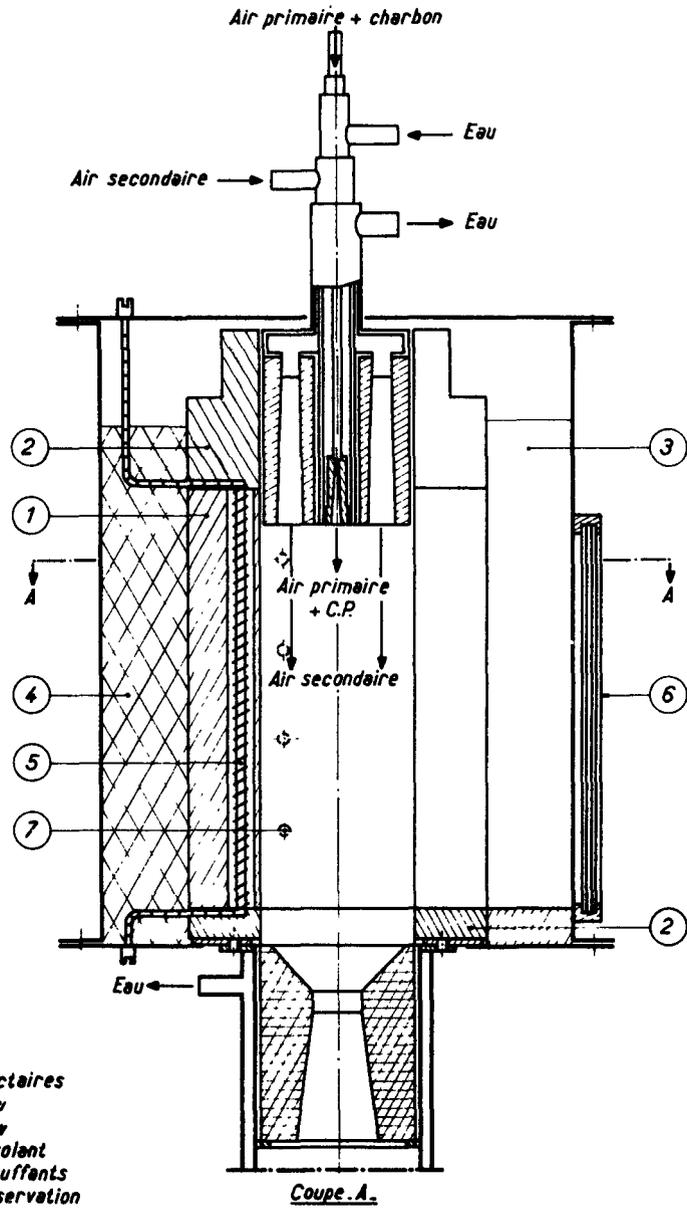


Fig. 1. GRILLE EXPERIMENTALE
Schéma d'ensemble

Échelle : 1/5



- 1 - Briques réfractaires
- 2 - " " "
- 3 - " " "
- 4 - Garnissage isolant
- 5 - Éléments chauffants
- 6 - Fenêtre d'observation
- 7 - Couple de paroi

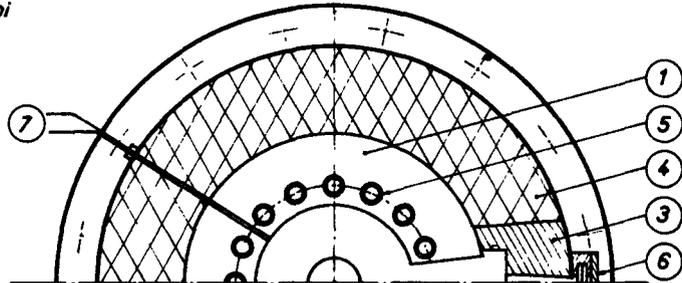


Fig. 3. FOUR A CHARBON PULVERISE 12 kW

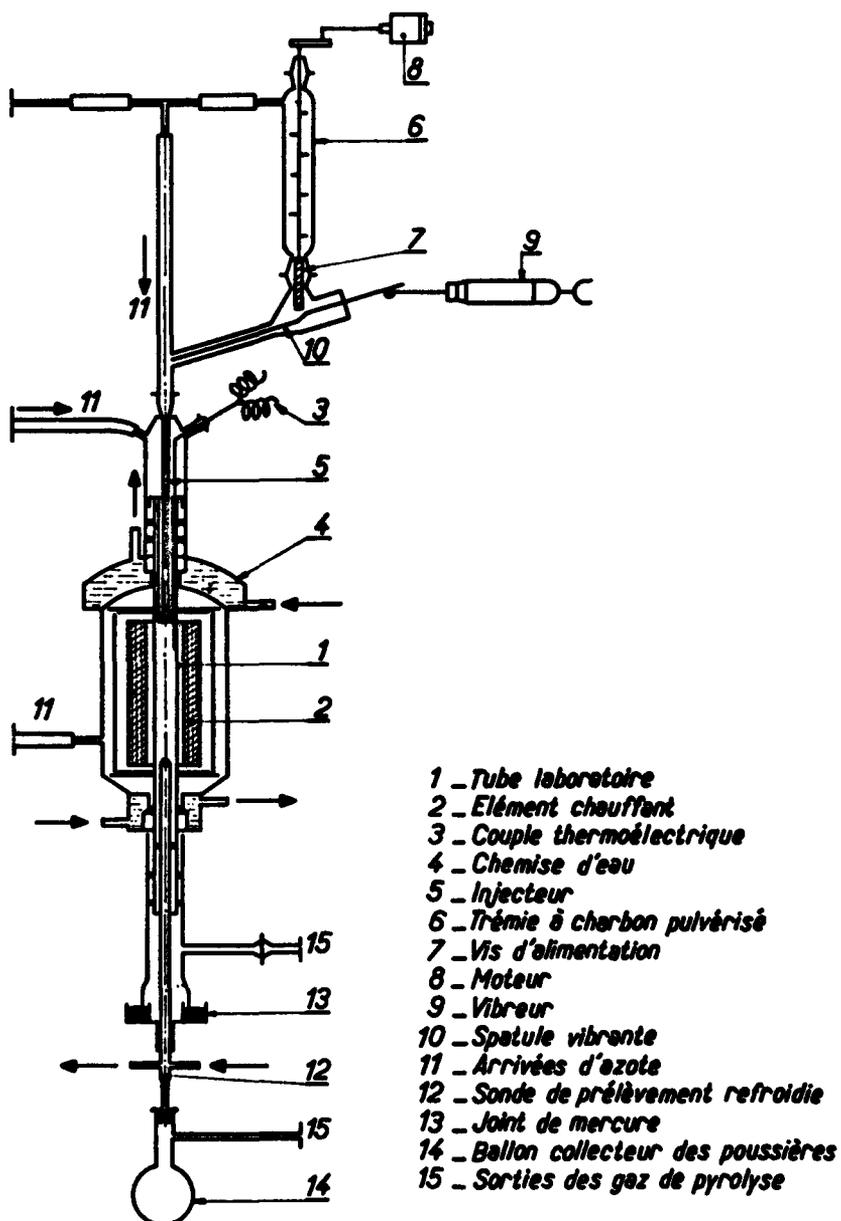


Fig.4- SCHEMA DE PRINCIPE DU FOUR VERTICAL

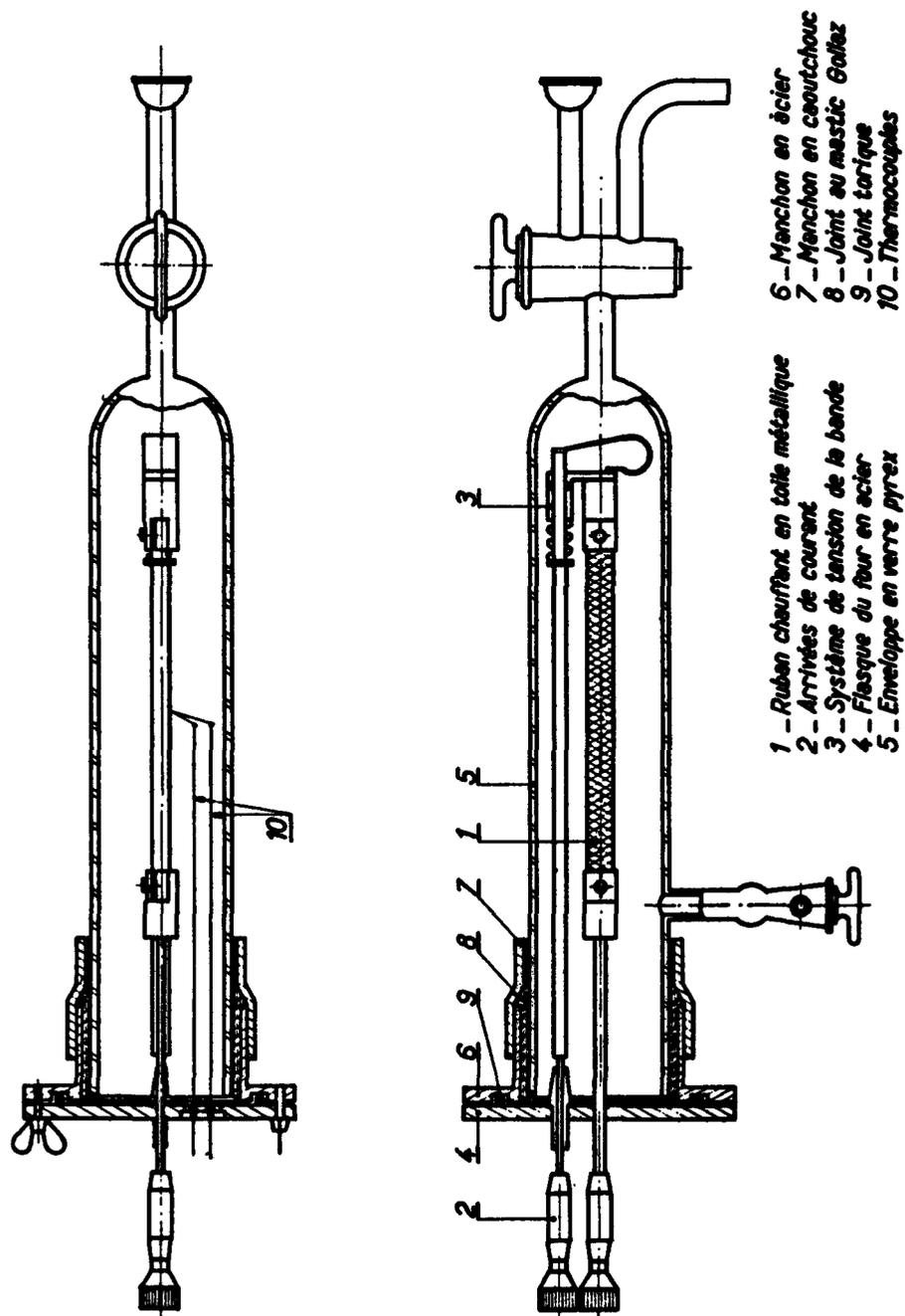


Fig. 5 - SCHEMA DE PRINCIPE DU FOUR A LOI DE CHAUFFE RAPIDE

PUBLICATIONS CONCERNANT LES TRAVAUX DU CERCHAR

- (1) La formation des mâchefers sur grille
P. DUMOUTET et J. DESSEINE
Doc. intérieur CERCHAR n° 1489 - septembre 1964
- (2) La formation des mâchefers sur grille
P. DEMOUTET et J. DESSEINE
I.F.C.E. - Journées de la combustion et de la conversion de l'énergie - Paris, 20-23 mai 1964
- (3) Etude expérimentale de l'inflammation et de la combustion sur grille
P. DUMOUTET et J. DESSEINE
Revue générale de Thermique - vol. II n° 16 - avril 1963
- (4) Etude sur la combustion des charbons pulvérisés maigres dans les centrales
R. LOISON
Revue de l'industrie minérale - avril 1964
- (5) L'inflammation des poussières de charbon
R. CHAUVIN, R. LOISON, G. TISSANDIER
I.F.C.E. - Journées de la combustion et de la conversion de l'énergie - Paris, 20-23 mai 1964
- (6) Mesure de la réactivité des combustibles solides par la méthode du point de croisement
R. CHAUVIN
Revue générale de Thermique - février 1964
- (7) Mécanisme de l'inflammation des poussières
R. LOISON et R. CHAUVIN
Communication à la onzième conférence internationale des directeurs de stations d'essais. Aix-les-Bains, 2-5 juillet 1963 - Revue de l'industrie minérale, vol. 45 n° 12, décembre 1963
- (8) Pyrolyse rapide du charbon
R. LOISON et R. CHAUVIN
Communication Cheltenham - mai 1963
Chimie et Industrie - vol. 91 n° 3, mars 1964

SERVICES DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

11 734/2/66/1