

# Commission technique internationale de la valorisation du charbon de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier

Sixième session du 20 au 22 mars 1957

## INTRODUCTION

*Le présent document constitue le rapport sur la sixième session de la Commission technique internationale de valorisation du charbon, organisée aux Pays-Bas, du 20 au 22 mars 1957.*

*Il a été rédigé par les délégués belges :*

*MM. BERX de la S.A. Cockerill-Ougrée à Seraing (\*).*

*GRAND'RY des S.A. Carbochimique et Carbonisation Centrale à Tertre, délégué de la Fédération Charbonnière de Belgique.*

*VENTER de l'Institut National de l'Industrie Charbonnière.*

*LEDENT de l'Institut National de l'Industrie Charbonnière.*

*Il est divisé en sept chapitres consacrés aux diverses installations visitées, à savoir :*

- I. Le laboratoire Central des Mines d'Etat à Geleen*
- II. Les usines chimiques des Mines d'Etat*
- III. La cokerie Maurits*
- IV. La cokerie Emma*
- V. Le Centre de recherches minières des Mines d'Etat à Treebeek*
- VI. La Station expérimentale d'étude des flammes à IJmuiden*
- VII. La cokerie de la Société Royale Néerlandaise des Hauts Fourneaux et Aciéries.*

*Chaque chapitre comporte l'exposé introductif présenté aux membres de la commission par les directeurs et chefs de service des différents départements visités et quelques renseignements complémentaires relatifs aux installations qui ont été montrées aux membres de la Commission.*

## LISTE DES PARTICIPANTS :

*Haute Autorité : MM. DELARGE, FACINI, SCHENSKY*

*Allemagne : MM. BERNEISEN, ENGEL, HOFMEISTER, KLEINGROTHAUS, LOH, LUEPKE, REERINK*

*Belgique : MM. BERX, GRAND'RY, LEDENT, VENTER*

*France : MM. LOISON, DERUELLE*

*Italie : MM. BOBBIO, COLLO, FERRARA, SCORTECCI*

*Pays-Bas : MM. van KREVELEN, VAN STEIN CALLENFELS*

*Sarre : MM. HOFFMANN, SCHROEDER, ZEWEN*

*Royaume-Uni : M. PATER*

*A leur arrivée aux Mines d'Etat, les participants ont été accueillis par le Dr. Ir. J. VAN ALKEN, Directeur aux Staatsmijnen, qui leur a souhaité la bienvenue et exposé le programme général de la session.*

\* M. BERX est décédé subitement en juin 1957, au cours d'une nouvelle visite à la cokerie Emma évoquée dans le présent rapport. Ses collègues belges garderont le meilleur souvenir de ce brillant ingénieur, intelligent et bon.

PREMIERE PARTIE  
COMpte RENDU DES VISITES

I. — LE LABORATOIRE CENTRAL DES MINES D'ETAT

RECHERCHES SUR LA HOUILLE

par le Prof. Dr. D. W. van KREVELEN

Introduction.

Un proverbe connu dit : « A cheval donné, on ne regarde pas la bride », sentence qui s'appliqua longtemps au don précieux que la houille constitue pour nous. Bien que le carbone soit au fond un élément peu abondant sur notre terre — puisque la quantité de carbone se trouvant dans l'écorce terrestre sous la forme dite « dynamique », c'est-à-dire capable de réagir avec l'oxygène, ne représente qu'une partie sur 10 millions — la nature nous a donné, dans les gisements de houille, des accumulations de carbone dynamique dont les stocks à des profondeurs exploitables sont toujours très grands, à savoir de quelques trillions de tonnes. Nous leur devons de nombreux avantages de notre société actuelle qui ne relèvent que de l'énergie disponible.

*Il est pourtant de fait que la répartition des espèces de charbon ne répond pas aux vœux de notre société et il en est de même pour la répartition granulométrique qui résulte de l'abattage.*

Chaque espèce de houille est, en principe, susceptible d'être brûlée et convertie en énergie et le chauffage au charbon pulvérisé, qui est largement appliqué dans les grandes chaudières, jouit d'une élasticité remarquable quant à sa base de matières premières.

Dans d'autres domaines spéciaux, la base de matières premières est pourtant peu flexible. Les combustibles naturels sans fumée de qualité supérieure et de grosseur appropriée (braisettes III) sont rares et les stocks de charbons à coke de bonne qualité sont loin d'être illimités.

*La tâche principale de la technologie et de la recherche au sujet de la houille réside actuellement dans la transformation des combustibles solides en des formes d'énergie valorisées dont, à part les combustibles solides sans fumée, font par-*

*tie le gaz et l'énergie électrique. A cela, il convient immédiatement d'ajouter l'autre forme de valorisation, à savoir celle du charbon et du gaz en matériaux de l'industrie chimique.*

Carbonisation.

La fabrication du coke et du gaz constitue la forme la plus ancienne de la transformation des combustibles. Longtemps encore, le charbon sera indispensable à la fabrication du coke parce que la carbonisation est une forme spécifique de la valorisation de la houille. *Le problème principal dans ce domaine consiste en l'élargissement de la base des matières premières.* A l'origine, le « charbon à coke » était un charbon d'une teneur en matières volatiles entre 20 et 25 %. Cette marge a été graduellement élargie et les recherches effectuées en Lorraine manifestent, entre autres, ce que les travaux systématiques permettent de réaliser. *C'est pourtant dans ce domaine que notre connaissance fondamentale se trouve en défaut.* Aussi le problème de la constitution de la houille et de sa plasticité, lors du chauffage, est-il un thème très important de nos recherches. J'espère revenir plus tard sur ce sujet.

Charbons domestiques sans fumées.

Le deuxième domaine d'application de la houille est celui des charbons domestiques sans fumée. Les stocks d'anhracite et de charbons maigres sont très limités et un tiers seulement est extrait dans les dimensions les mieux appropriées. Les agglomérés au brai ne constituent pas la vraie solution. C'est pourquoi on constate une tendance générale à fabriquer des charbons domestiques sans fumée.

La différence entre les prix des fines et des braisettes offre de multiples possibilités, à condition

*pourtant que le produit artificiel soit un vrai produit de qualité : il faut que sa grosseur soit très régulière, qu'il soit solide et résistant à l'usure et qu'il permette une combustion facile et sans fumée.* Nos recherches ont prêté beaucoup d'attention à ce sujet. Les Mines d'Etat produisent, en ce moment, de la *synthracite*, agglomérés au brai carbonisés, très résistants et suffisamment réactifs.

Ce procédé présente néanmoins le désavantage de n'utiliser que des fines maigres et d'exiger du brai. C'est pourquoi une étude est en cours en vue de l'emploi de charbon bitumineux ramolli comme liant, pour les combustibles à grains fins, pauvres en gaz (semi-coke, déchets de coke, etc.). Le ramollissement du charbon bitumineux s'effectue par un mélange très rapide du charbon froid avec le combustible maigre préalablement chauffé, mélange qui est immédiatement suivi du briquetage. Comme le combustible maigre peut être fabriqué par dégazage dans un lit fluidisé, à partir de n'importe quelle espèce de charbon, l'élasticité de ce procédé est très grande.

#### Gazéification.

Le troisième domaine de recherches intensives est celui de la fabrication de gaz. La fabrication classique du gaz est basée sur la carbonisation de la houille. Ceci pose le problème du rapport coke/gaz et celui des espèces de coke; en effet, le besoin de gaz augmente plus rapidement que le besoin de coke et la valeur des espèces de coke est déterminée par leurs granulométries. A ces problèmes, la gazéification intégrale apporte une solution. Cette gazéification totale a fait l'objet, dans ce laboratoire, d'une étude théorique et expérimentale très détaillée d'où il résulte que, *compte tenu des conditions des Mines d'Etat*, c'est la gazéification du coke et non celle de la houille qui présente le plus d'avantages, à condition qu'elle soit effectuée dans des gazogènes à fusion de cendres, à l'aide d'oxygène et de vapeur. Les conditions locales qui justifient cette conclusion sont :

1. La présence de grandes centrales électriques qui consomment déjà toute la quantité de houille à bon marché, si bien qu'on ne dispose pas de houille « bon marché » pour la gazéification.

2. Une très grande production de coke et la présence d'importantes quantités de coke dont les dimensions sont inférieures à celles du coke métallurgique.

3. Le besoin d'importantes quantités de gaz de synthèse et de gaz de chauffage de haute qualité.

4. La présence d'une vaste industrie d'azote où l'azote, qu'on obtient comme sous-produit de la préparation de l'oxygène, trouve un large emploi.

Les avantages du gazogène à fusion de cendres sont :

1. Son rendement très élevé (87 %, soit environ 20 % de plus que celui qu'on obtient par d'autres procédés de gazéification de la houille).

2. Le fait que l'oxygaz produit, qui contient 65 % de CO, a, par suite de la température élevée de sa flamme, un rendement de chauffage très élevé (15 à 20 % de plus que celui du gaz de gazogène) et qu'il est capable de chauffer les fours de type « non-compound ».

3. Le fait que le gazogène à fusion de cendres présente, par suite de sa température élevée, des possibilités très intéressantes pour les conversions chimiques simultanées, telles que la préparation thermique de carbure ou la production de ferrosilicium.

Toutes ces possibilités ont été réalisées dans nos usines pilotes.

#### Produits chimiques préparés directement à partir de la houille.

Dans ce laboratoire, une étude détaillée a été faite de l'oxydation de la houille. Par oxydation prudente dans un lit fluidisé, la houille a été transformée en oxycharbon qui, après hydrolyse avec de la lessive caustique, produit un échangeur d'ions utile. Ce procédé n'a cependant pas eu de succès durable, du fait que les échangeurs d'ions entièrement synthétiques ont trouvé entretemps un débouché favorable. Une oxydation plus poussée, par des mélanges acide nitrique — acide sulfurique, a permis de développer un procédé pour la préparation d'acide mellitique et d'autres acides benzo-carboxyliques d'où résultait un excellent produit susceptible d'être transformé en plastifiants de bonne qualité. En ce moment, il semble pourtant que ces produits soient plus faciles à fabriquer à partir de fractions de pétrole.

Il est peu probable qu'une valorisation économique de la houille par conversion directe en produits chimiques, soit en perspective. L'hydrogénation, qui est la voie de réaction la plus douce et qui mène pourtant à des mélanges très compliqués, ne se présente pas non plus comme la solution voulue; nulle part dans le monde elle ne se révèle, en ce moment, économique.

Les résultats de nos recherches sur la structure de la houille ne donnent pas davantage d'espoir; ils portent à croire que la houille a une structure aussi compliquée que celle de l'huile minérale brute, alors qu'elle ne présente pas les avantages caractéristiques de l'huile minérale, à savoir : le caractère liquide et les possibilités illimitées de fractionnement.

Nous voilà donc de nouveau confronté avec la constitution de la houille au sujet de laquelle je me propose de vous faire un exposé plus détaillé.

### Constitution de la houille.

Les méthodes classiques de destruction chimique progressive ont échoué en ce qui concerne les recherches sur la structure de la houille. L'oxydation et l'hydrogénation ont seulement démontré que la houille est une substance riche en anneaux et particulièrement aromatique.

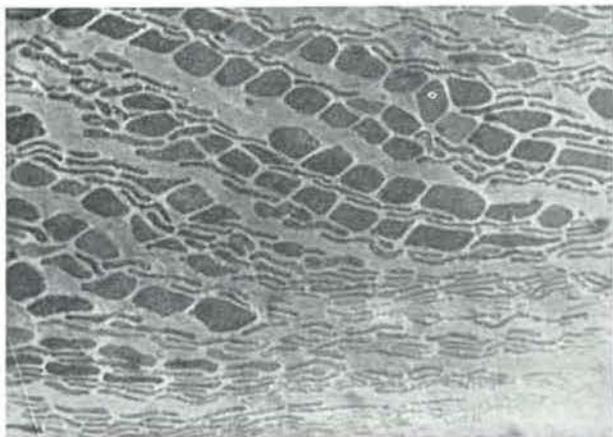


Fig. 1. — Houille brillante se composant principalement de vitrinite avec structure de bois (télinite).

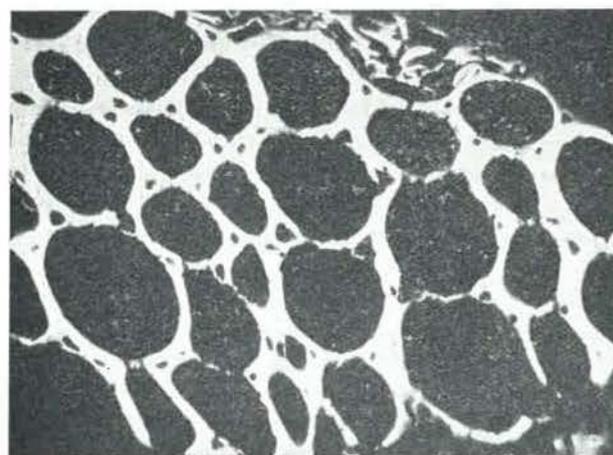


Fig. 3. — Fusinite.



Fig. 5. — Houille brillante avec couches de micrinite granulaire.

La pétrographie avait révélé entretemps que la houille n'est pas du tout une substance naturelle homogène.

La houille polie observée au microscope en lumière réfléchiée et sous immersion d'huile, montre des images très variables.

Ses composants principaux sont :



Fig. 2. — Houille brillante avec vitrinite sans structure (collinite).



Fig. 4. — Semi-fusinite.

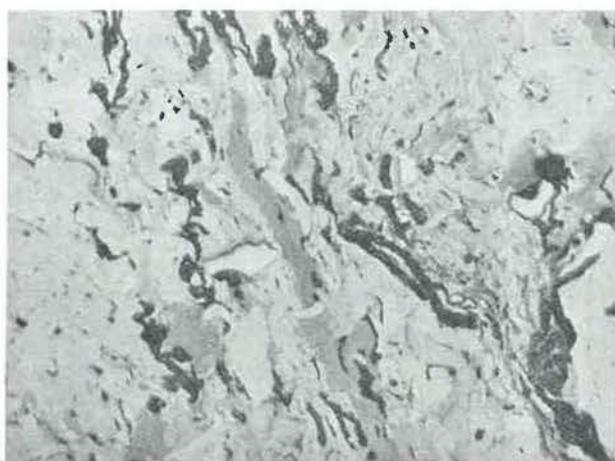


Fig. 6. — Durain avec beaucoup de micrinite massive.

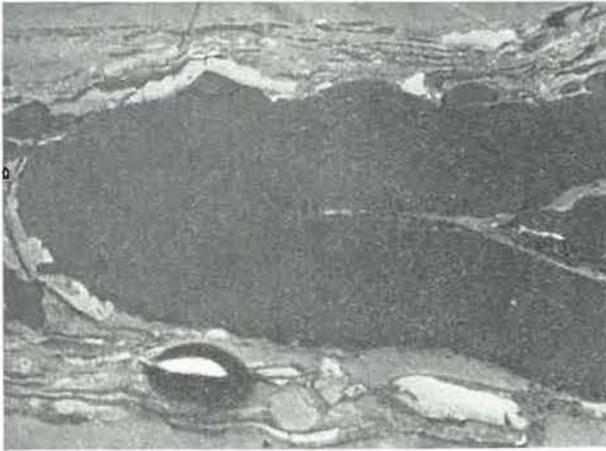


Fig. 7. — Exinite (mégaspores).

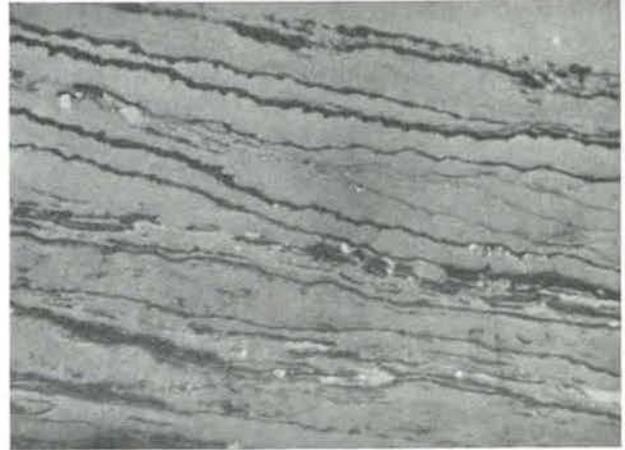


Fig. 8. — Exinite provenant de cuticules.

la vitrinite (fig. 1 et 2) provenant du bois et de l'écorce

la (semi) fusinite (fig. 3 et 4) provenant des mêmes matériaux, mais résultant d'une houillification spéciale

la micrinite (fig. 5 et 6) provenant des boues humiques

l'exinite (fig. 7 et 8) provenant des cuticules et des spores.

Chaque composant ou macéral de houille a, dans sa structure morphologique, conservé les réminiscences de sa matière d'origine. Du point de vue chimique, tous ces composants diffèrent et suivent leur propre trajet de houillification. Ceci a été représenté au diagramme de houillification (fig. 9) où le rapport atomique H/C et le rapport atomique O/C sont les coordonnées. Vous voyez

les trajets de houillification très caractéristiques des différents composants des plantes.

La houille n'est pas seulement non-homogène mais, de plus, la composition et les propriétés de chaque composant changent au cours de la houillification.

Il va sans dire que le chimiste doit, pour ses recherches, utiliser de la matière aussi homogène que possible, dont le degré de houillification est connu, afin d'obtenir des résultats sûrs et reproductibles. Ceci a toujours été la directive de nos recherches.

Je veux maintenant vous expliquer brièvement les méthodes que nous avons utilisées.

La première propriété fondamentale qui nous a fourni des données sur la structure était le volume caractéristique combiné avec la composition élémentaire.

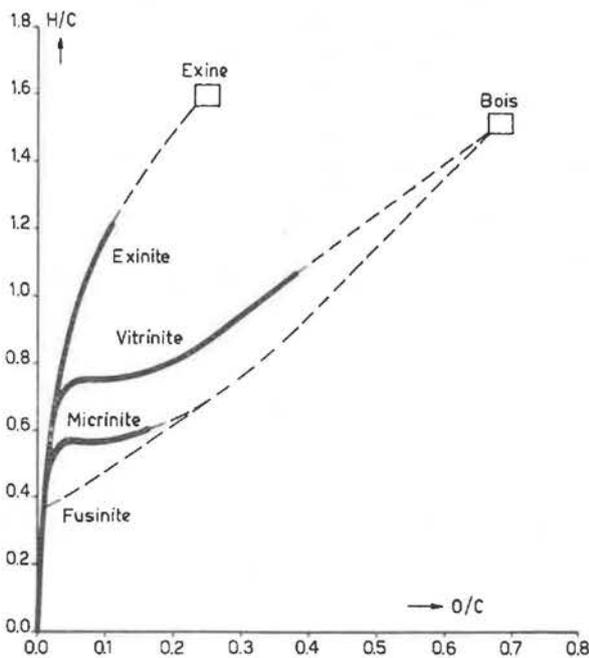


Fig. 9. — Trajets de houillification des différents macéraux.

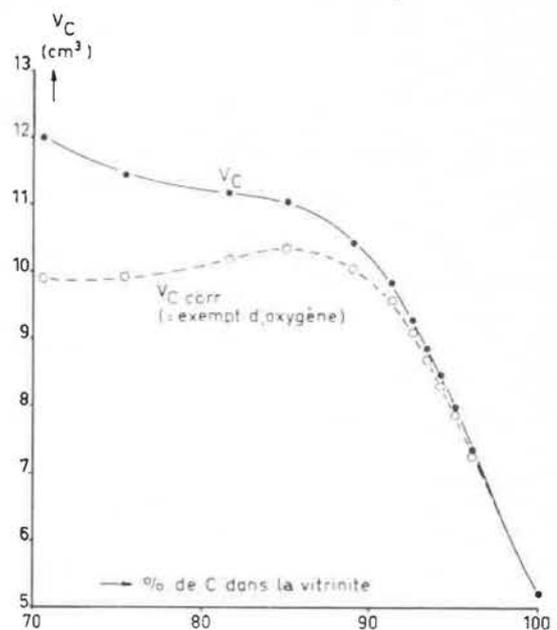


Fig. 10. — Le volume caractéristique comme fonction du degré de houillification.

Par volume caractéristique, nous entendons la grandeur  $V_C = 1200/C \times 1/d$  qui est le volume molaire par atome-gramme de carbone. La figure 10 représente l'allure de cette grandeur.

En portant le volume caractéristique d'hydrocarbures de structures connues en fonction du rapport atomique H/C, on trouve une relation intéressante qui est reproduite graphiquement à la figure 11.

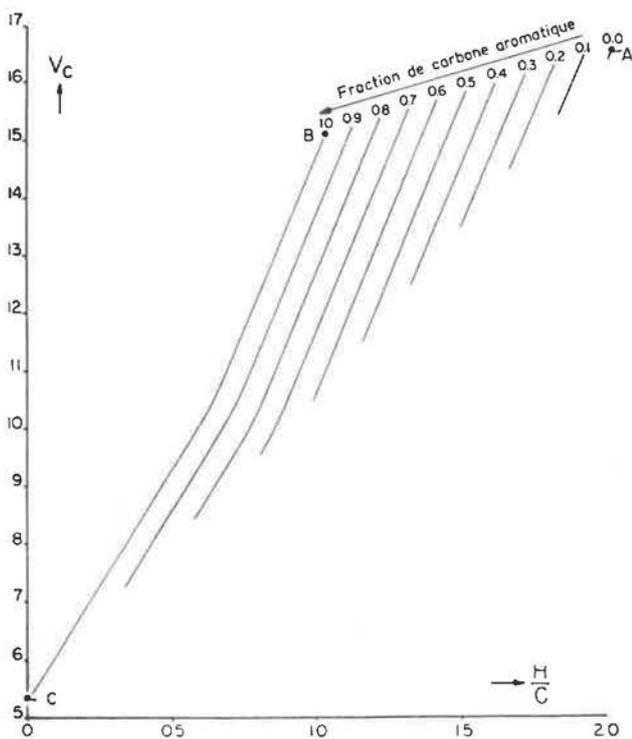


Fig. 11. — Méthode graphique de l'analyse structurale.

Le point B représente le volume caractéristique du benzène, C celui du graphite, A celui du groupement aliphatique  $CH_2$ . Sur la courbe BC se trouvent tous les volumes caractéristiques des hydrocarbures entièrement aromatiques. L'aromaticité de la courbe BC est donc de 100 % et celle du point A de 0 %. Une interpolation peut être appliquée entre A et BC et c'est dans cette région que se trouvent tous les hydrocarbures partiellement aromatiques.

La figure 11 a été confirmée par un grand nombre de mesures effectuées sur des matières très diverses, elle permet donc de nous renseigner avec précision sur le degré d'aromaticité ( $f_a$ ). Il est vrai que la houille n'est pas un hydrocarbure, mais comme le volume atomique de l'oxygène est connu, on peut facilement calculer quel serait le volume caractéristique de la houille si on éliminait l'oxygène, sans changer la structure du squelette.

L'aromaticité mesurée permet ensuite de calculer le degré de condensation des anneaux. On en

tend par là la grandeur  $i_R = 2(R - 1)/C$  qui pour le benzène a la valeur de 0 et pour le graphite la valeur de 1. En effet, entre l'aromaticité et l'indice de condensation des anneaux, il existe la relation :  $i_R = 2 - f_a - (H/C)$  qu'on peut déduire de façon purement théorique.

Les figures 12 et 13 représentent les résultats de la détermination de  $f_a$  et de  $i_R$  pour la vitrinite,

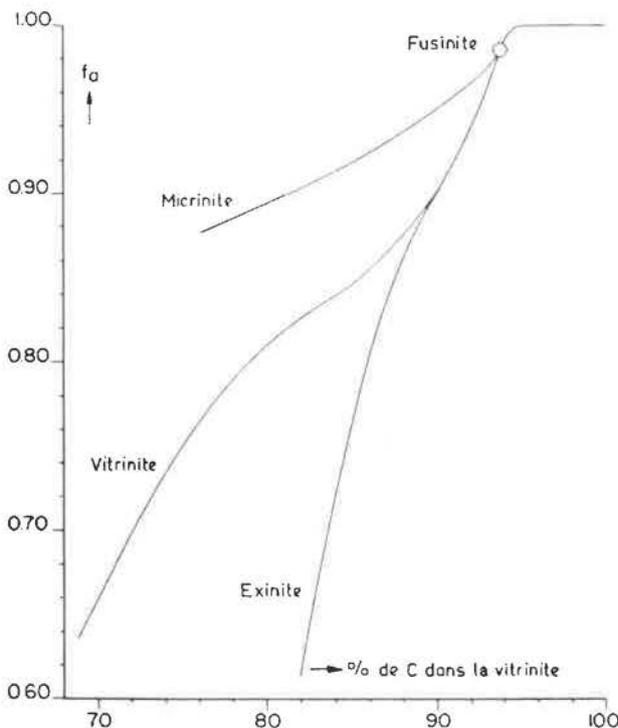


Fig. 12. — Aromaticité des différents composants de la houille.

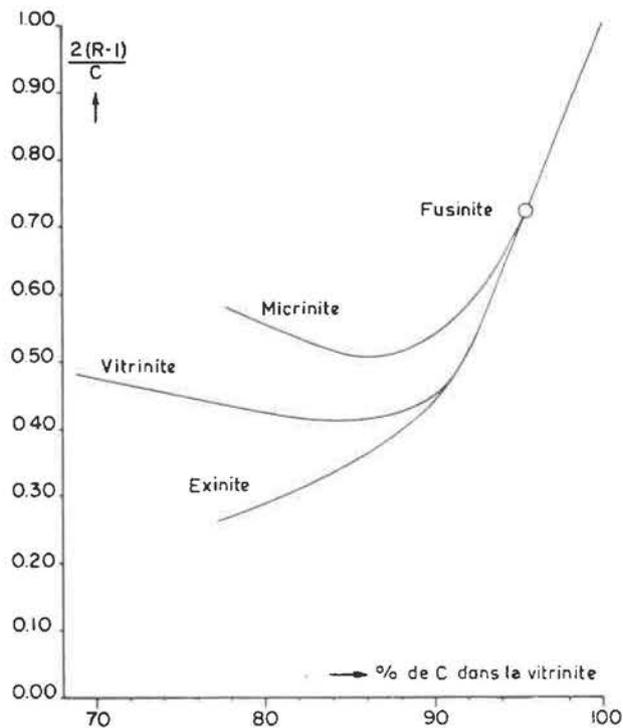


Fig. 13. — Degré de condensation des anneaux des différents composants de la houille.

l'exinite, la micrinite et la fusinite, comme fonction du degré de houillification. Dans ces diagrammes, nous prenons comme mesure du degré de houillification la teneur en carbone de la vitrinite dans le gisement de houille qui contient les différents composants.

Il est facile de dégager les conclusions intéressantes qui résultent de cet examen. L'exinite, qui provient de matière non-aromatique (cuticules de feuilles et spores), est pendant la houillification soumise à une aromatisation et une cyclisation régulières. La vitrinite qui a déjà dès l'origine un caractère aromatique (la lignine du bois est à 60 % aromatique) est pendant la houillification soumise à une aromatisation croissante : en ce qui concerne la condensation d'anneaux, elle montre d'abord une réduction puis une forte augmentation. La micrinite est, dès l'origine, plus aromatique que la vitrinite et que les autres constituants. La fusinite a une composition remarquablement constante durant toute la houillification, du lignite à l'anthracite, ce qui témoigne d'une formation particulière par suite d'une sorte de carbonisation. La fin logique de la houillification est le graphite, mais ce stade n'est presque jamais atteint.

Une autre grandeur importante liée à la structure est l'indice de réfraction, qui peut être calculé à partir de la réflexion de la lumière. A partir de l'indice de réfraction, de la densité et de la composition élémentaire, on peut calculer la *réfraction caractéristique*  $r_c$  qui se définit comme suit :

$$r_c = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1200}{C}$$

Pour les matières non-aromatiques,  $r_c$  peut se calculer par voie additive à partir des valeurs obtenues pour les atomes constitutifs. Pour les composés aromatiques, on trouve une valeur plus élevée de  $r_c$  et il semble que la différence  $\Delta r_c$  soit une mesure du nombre d'atomes de C aromatiques qui se sont composés en un système d'anneaux condensés. Pour l'anneau de benzène,  $\Delta r_c$  est environ de 0,9. Pour un système de 5 anneaux condensés, cette valeur monte jusqu'à 1,6 environ, elle baisse ensuite jusqu'à 0 pour le graphite. Cette méthode optique nous permet de mesurer les dimensions des systèmes aromatiques sans nuire à la structure originale de la houille.

La figure 14 en représente les résultats. Pour l'exinite, le système condensé est, jusqu'à un degré assez élevé de la houillification, très petit (1 anneau) mais il s'accroît ensuite rapidement; pour la vitrinite d'un bas degré de houillification (75 % de C), le « cluster » aromatique (groupement condensé) n'a que 14 atomes de C, c'est-à-dire 3 anneaux environ, dimension qui augmente constamment avec la houillification croissante;

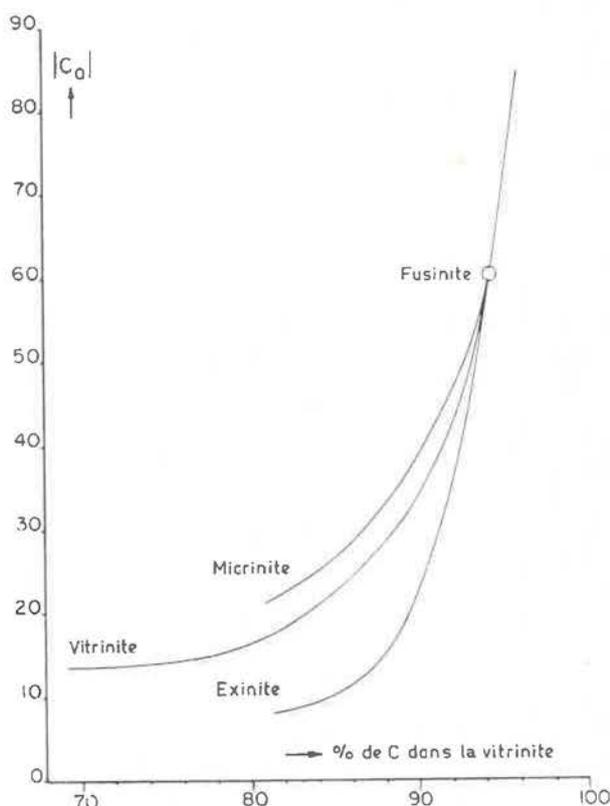


Fig. 14. — Dimensions des « clusters » aromatiques dans les différents composants de la houille.

quand le degré de houillification dépasse les 93 % de C, il se développe jusqu'à de très grandes dimensions. Pour la fusinite, le « cluster » aromatique est de 60 atomes de C environ.

*Vous voyez que nous avons ainsi réalisé une image assez nette de la structure de la houille. De plus, il y a des symptômes qui révèlent que les « clusters » aromatiques de la houille se sont, par suite de structures en pont de —C—C— et de —C—O—, soudés l'un à l'autre et présentent une sorte de structure polymère, si bien que le poids moléculaire moyen probable est de 1 500 à 3 000.*

#### Fabrication du coke.

L'image de la structure nous permet maintenant de comprendre la conduite différente des houilles en cas de chauffage. Le fait que les macéraux micrinite et fusinite ne ramollissent pas est dû à la grandeur de leurs « clusters » aromatiques, celle-ci engendre des forces de cohésion extrêmement fortes si bien qu'on ne constate pas de phénomènes de « fusion » pendant la pyrolyse. Indépendamment du stade de houillification, la micrinite et la fusinite se conduisent comme des matières inertes. L'exinite, par contre, a des « clusters » aromatiques très petits et est relativement riche en hydrogène.

Au cours de sa pyrolyse, elle passe toujours par un état plastique et les produits de sa décomposition ont un poids moléculaire tellement bas qu'ils s'éliminent par distillation. Telle quelle, l'exinite est trop volatile pour servir d'élément de cokéfaction mais, en mélange avec la vitrinite, elle peut, par solution mutuelle, fournir une meilleure plastification de la masse fondue.

*L'élément de cokéfaction par excellence est la vitrinite mais seulement dans un trajet limité de houillification, à savoir entre 17 et 36 % de matières volatiles. A l'intérieur de cette zone, les propriétés cokéfiantes sont très variées.*

La production du coke de bonne qualité dépend des paramètres suivants :

- le degré de plasticité qu'on réalise par le ramollissement (mesurable à partir de degré de gonflement)
- la longueur du trajet plastique (en °C)
- la position de la température de resolidification (en °C)
- la vitesse de contraction immédiatement après la resolidification (en %/°C).

Les études effectuées en France ont fortement accentué l'importance des deux dernières grandeurs, qui déterminent la formation des fissures dans le coke.

Le dilatomètre permet de suivre les quatre propriétés susdites. Un bon mélange de charbons à coke présente, en cas d'un trajet plastique de plus de 100° C, une dilatation de 50 % environ, une température de resolidification de plus de 480° C et un coefficient de contraction aussi petit que possible, après la resolidification ( $< 7 \times 10^{-4}$ ).

La figure 15 représente l'évolution de ces quatre paramètres principaux pour la série des vitrinites. Il est évident que lesdits critères ne sont pas concordants et qu'ils sont même dans une certaine mesure contradictoires. Un compromis conduit à la valeur optimum de 24 % de composants volatils; voilà le charbon à coke par excellence.

Cependant, un seul type de vitrinite n'a jamais une conduite optimum dans le four à coke. Quand les particules de houille ont toutes les mêmes températures de ramollissement et de resolidification, la pression de gonflement augmente dangereusement. C'est pourquoi il convient de mélanger les charbons.

*Il s'est avéré qu'il faut s'efforcer d'atteindre, par mélange, la courbe optimum de répartition des espèces de vitrinite selon leur degré de houillification.* La figure 16 représente les dilatations maxima d'un nombre de mélanges de vitrinite qui ont tous le même indice de matières volatiles, mais présentent une courbe de répartition différente selon l'espèce de houille. Il est visible que les dilatations sont très différentes. Les mélanges optima ont une dilatation  $b$  de 50 % environ.

*Il importe donc grandement de disposer d'une méthode d'analyse rapide pour les mélanges de charbons à coke selon leur degré de houillification.* Nous l'avons trouvée en appliquant des mesures de réflexion. La figure 17 représente les pouvoirs réflecteurs de la vitrinite immergée dans de la glycérine. Elle donne également le pouvoir réflecteur du brai qui est égal à celui de la houille contenant 21 % de matières volatiles. En enrobant un mélange de grains de houille dans du brai, on constate immédiatement quelles parties contiennent moins de 21 % de matières volatiles et quelles parties en contiennent plus (Celles-ci sont plus noires que le brai). On peut augmenter assez net-

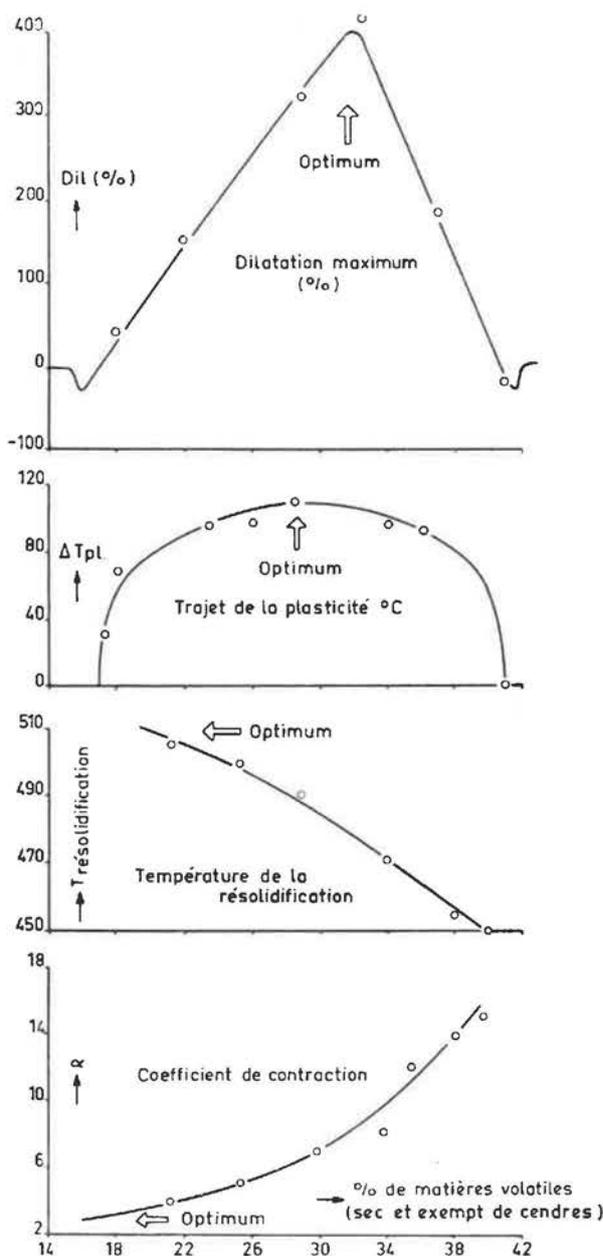


Fig. 15. — Les paramètres principaux pour la cokéfaction. Série des vitrinites.

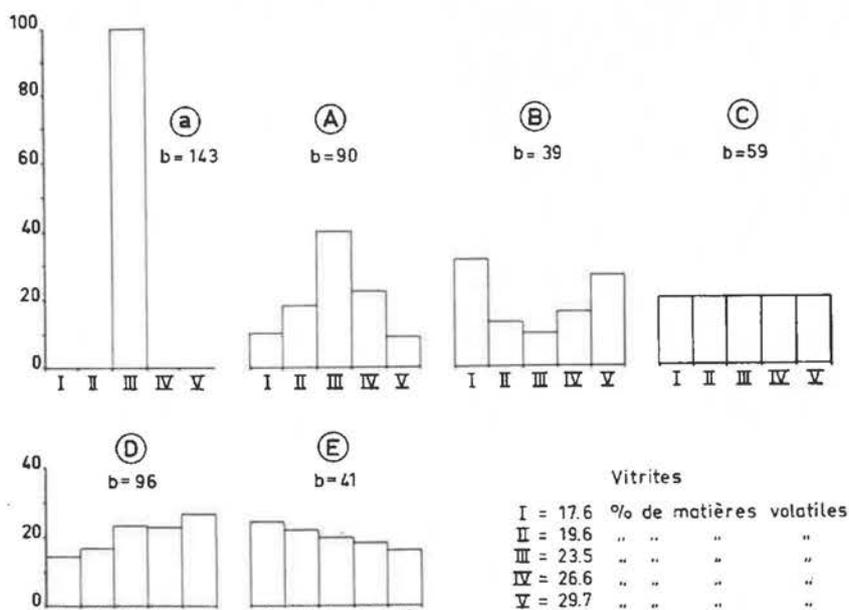


Fig. 16. — Dilatométrie de mélanges.

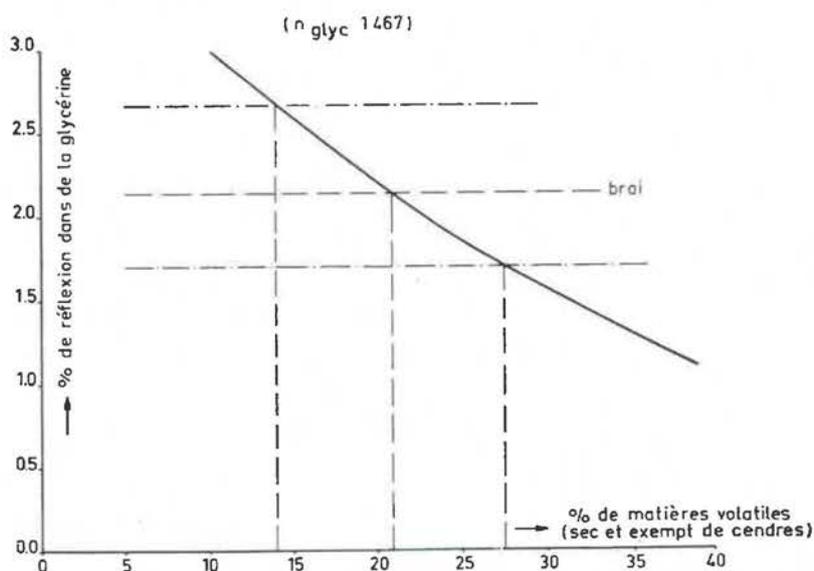


Fig. 17. — Pouvoir réflecteur dans la glycérine en fonction du degré de houillification.

tement les possibilités distinctives en mettant, dans le champ de l'image du microscope, une plaque de verre dont une moitié absorbe 20 % de lumière de plus que l'autre moitié. Quand la réflexion de lumière du brai baisse de 20 %, elle correspond à celle d'une houille de 28 % de matières volatiles. La situation est donc celle reproduite à la figure 18 a. Si une particule de houille se trouve dans la moitié I du champ visuel, on peut la comparer avec la masse de brai qui, en I, correspond à une vitrinite de 21 % de matières volatiles et, en II, à une vitrinite de 28 % de matières volatiles. En regardant par contre le grain de houille dans la moitié du champ visuel II (fig.

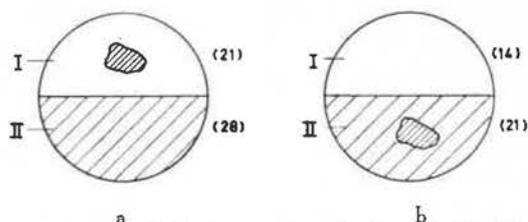
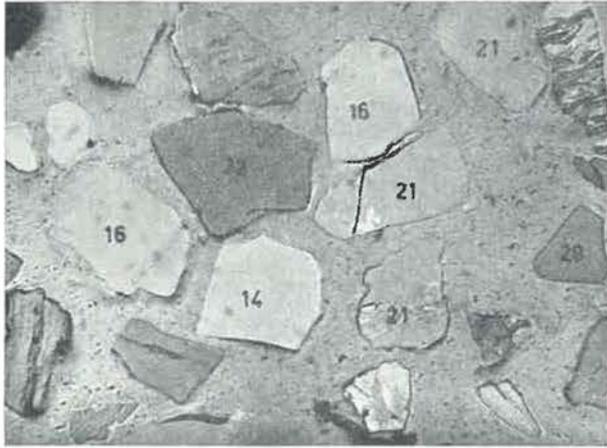


Fig. 18. — Méthode de détermination du degré de houillification au moyen du pouvoir réflecteur.

18 b), le brai en I et en II représente des matières de comparaison correspondant respectivement à des vitrinites de 14 et de 21 % de matières volatiles. En mettant la houille successivement en I et en II, on dispose donc effectivement de 3 matières



de comparaison correspondant à 14, 21 et 28 % de matières volatiles. Ceci permet de déterminer à quel degré de houillification appartient une particule de houille. C'est ainsi qu'on peut déterminer assez exactement la courbe de répartition selon le degré de houillification dans n'importe quel mélange de charbons à coke produit par une mine quelconque. La figure 19 représente une microphotographie d'un mélange de charbons à coke ainsi caractérisés, selon leurs degrés de houillification.

Fig. 19. — Grains de degrés de houillification différents dans un mélange de charbons à coke.

### VISITE DU LABORATOIRE CENTRAL

Après l'allocation du Dr. van Krevelen, les délégués de la Commission de Valorisation du Charbon ont effectué une visite rapide des principaux services du laboratoire central.

Ce laboratoire, dont les premiers locaux furent inaugurés en 1940, occupe une dizaine de bâtiments construits, pour la plupart, en béton armé et dont les plus importants comptent quatre étages; l'ensemble des constructions et des terre-pleins intercalaires s'étend sur une surface de plusieurs hectares.

Les services de recherches et les services auxiliaires occupent actuellement 650 personnes, dont 75 universitaires et environ 300 analystes, techniciens et laborants.

Le tableau I donne une idée de l'organisation de la recherche. A l'heure actuelle, environ 15 % de l'activité sont orientés vers le secteur des combustibles, 55 % vers le secteur des produits chimiques, les 30 % restants étant partagés entre la recherche fondamentale et le secteur Contrôle et Analyse.

Compte tenu des frais de fonctionnement des usines pilotes, le budget annuel consacré aux recherches atteint, dans le secteur chimique des Mines d'Etat, le total d'environ 5 % du chiffre d'affaires.

Au cours de leur visite, les délégués ont pu se rendre compte de l'importance de l'équipement

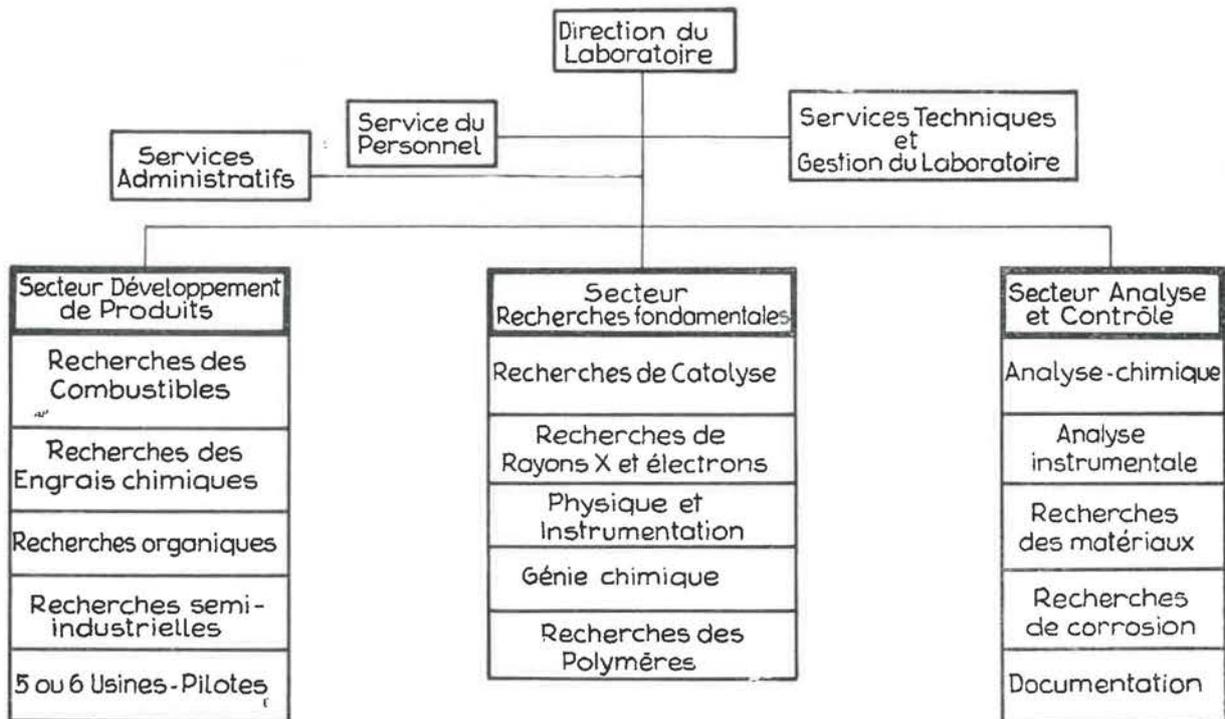


TABLEAU I.

technique et scientifique des différentes sections du laboratoire. Parmi celles-ci on peut citer :

- la section des rayons X avec son microscope électronique et ses appareils d'étude radiocristallographique par diffraction des rayons X et par diffraction d'électrons;
- la section des recherches de catalyse avec ses thermobalances, ses balances à fils de quartz et son appareillage d'étude des isothermes d'adsorption;
- le hall d'essais et de contrôle des matériaux avec ses diverses machines d'essais de traction, de flexion ou de compression;
- le hall des recherches semi-industrielles où s'effectuent les études chimiques qui ont dépassé le stade du travail « in vitro »;
- le laboratoire d'étude et de contrôle des char-

bons avec ses équipements d'analyse élémentaire et immédiate, ses plastomètres, ses appareils de distillation et d'étude des sous-produits et son petit four de carbonisation à l'échelle de 5 kg;

- le laboratoire de pétrographie avec son équipement de microscopes et de polisseuses;
- le hall pour l'étude des hautes pressions;
- l'atelier de mécanique et toute sa variété de machines-outils;
- le laboratoire d'étude des flammes de gaz avec ses photomètres;
- la bibliothèque, l'atelier de soufflage de verre et l'atelier de fine mécanique chargé de la fabrication des instruments de contrôle et de mesure.

## II. — LES USINES CHIMIQUES DES MINES D'ETAT

### L'INDUSTRIE CHIMIQUE DES MINES D'ETAT

par Ir. J. P. M. van WAES

L'historique de la création et du développement de l'industrie chimique des Mines d'Etat a fait l'objet d'un article, publié en juin 1955, dans le *Journal of the Institute of Fuel* (\*). Cet historique s'arrête en automne 1954, époque de la mise en marche de la nouvelle cokerie Emma.

Comme il n'y a pas eu d'arrêt dans le développement, nous examinerons plus particulièrement, dans ce qui suit, l'évolution qui s'est produite au cours des deux dernières années, afin d'arriver à une idée exacte de la situation actuelle.

#### *Fabrication de coke.*

Fin 1954, la quantité de charbons traitée dans les deux cokeries des Mines d'Etat se montait à un total de 10 000 tonnes par jour : 2 300 tonnes dans les deux batteries de la nouvelle Cokerie Emma et 7 700 tonnes dans les huit batteries de la Cokerie Maurits.

A la suite de l'extension de la Cokerie Emma, dont nous parlerons tout à l'heure, la quantité de charbons traitée s'élève actuellement à 10 900 tonnes par jour, dont 4 600 tonnes à la Cokerie Emma.

Par contre, la quantité traitée à la Cokerie Maurits a été graduellement diminuée jusqu'au niveau

de 6 300 tonnes par jour, cette quantité étant actuellement traitée dans six batteries.

Les deux plus vieilles batteries, système Coppée, datant de 1929, ont été arrêtées et démolies au cours des années 1955-1956.

Des six batteries encore en service, deux sont du type Coppée datant de 1929, deux du type Otto de 1934, une du type Koppers de 1938 et une du type Wilputte de 1949. Dans le courant de l'année prochaine, deux nouvelles batteries du type Otto seront construites à l'endroit où se trouvaient les anciennes batteries Coppée; ensuite, les deux plus anciennes batteries, encore actuellement en service, seront également arrêtées.

L'exploitation de la nouvelle Cokerie Emma a été commencée en automne 1954 avec deux batteries Wilputte. Fin 1954, la quantité totale de charbon traitée dans ces deux unités était de 2 300 tonnes par jour; dans le courant de 1955, elle a été augmentée jusqu'à environ 3 100 tonnes. Dans la période 1955/1956, une troisième batterie Wilputte a été livrée, laquelle a été mise en marche en octobre 1956.

Depuis lors, la quantité de charbon traitée a été augmentée graduellement jusqu'à 4 600 tonnes par jour.

A raison d'une production de coke d'environ 760 kg par tonne de charbon traité, la production

(\*) The Chemical Industry of the Dutch State Mines, par J.P.M. van WAES.

journalière de coke est donc voisine de 8 300 tonnes, soit plus de 3 millions de tonnes par an.

La production comprend 60 % de coke métallurgique (> 90 mm), 35 % de classés de moindre dimension, répartis en cinq catégories et 5 % de déchets.

En 1956, la production totale de 2,95 millions de tonnes a été écoulee comme suit :

consommé dans notre propre entreprise	8,7 %
vendu à l'intérieur du pays	49,6 %
exporté dans les pays de la C.E.C.A.	25,1 %
exporté dans des pays tiers	23,6 %

#### Fabrication et vente de gaz.

A un enfournement de 10 900 tonnes par jour correspond une production de gaz de four à coke de 145 000 m<sup>3</sup> par heure. Les installations de production de gaz de chauffage ont une capacité suffisante pour permettre d'éviter complètement l'emploi du gaz de distillation pour le chauffage des fours. Ainsi, le gaz de four à coke est entière-

ment disponible pour la préparation d'engrais azotés et pour les usages domestiques et industriels.

Une quantité d'environ 60 000 m<sup>3</sup>/h est traitée dans nos propres usines, presque entièrement pour la préparation d'engrais azotés. Le reste, soit 85 000 m<sup>3</sup>/h, est disponible pour la vente.

Pendant la période de forte gelée de février 1956, plus de 60 000 m<sup>3</sup>/h de gaz de four à coke ont été livrés, en moyenne, pendant plusieurs jours, au réseau de transport de gaz de la Hollande méridionale, tandis qu'une quantité supplémentaire de 10 000 m<sup>3</sup>/h était livrée à l'Allemagne.

En fait, par suite des fluctuations des besoins, au cours des 24 heures, les charges horaires maximales ont été encore beaucoup plus élevées.

Fin 1954, la capacité du réseau de transport, avec la suppression de 7 atm appliquée jusqu'alors, était complètement utilisée en période d'hiver. Depuis lors, il est devenu nécessaire de relever les pressions afin de pouvoir satisfaire à la demande.

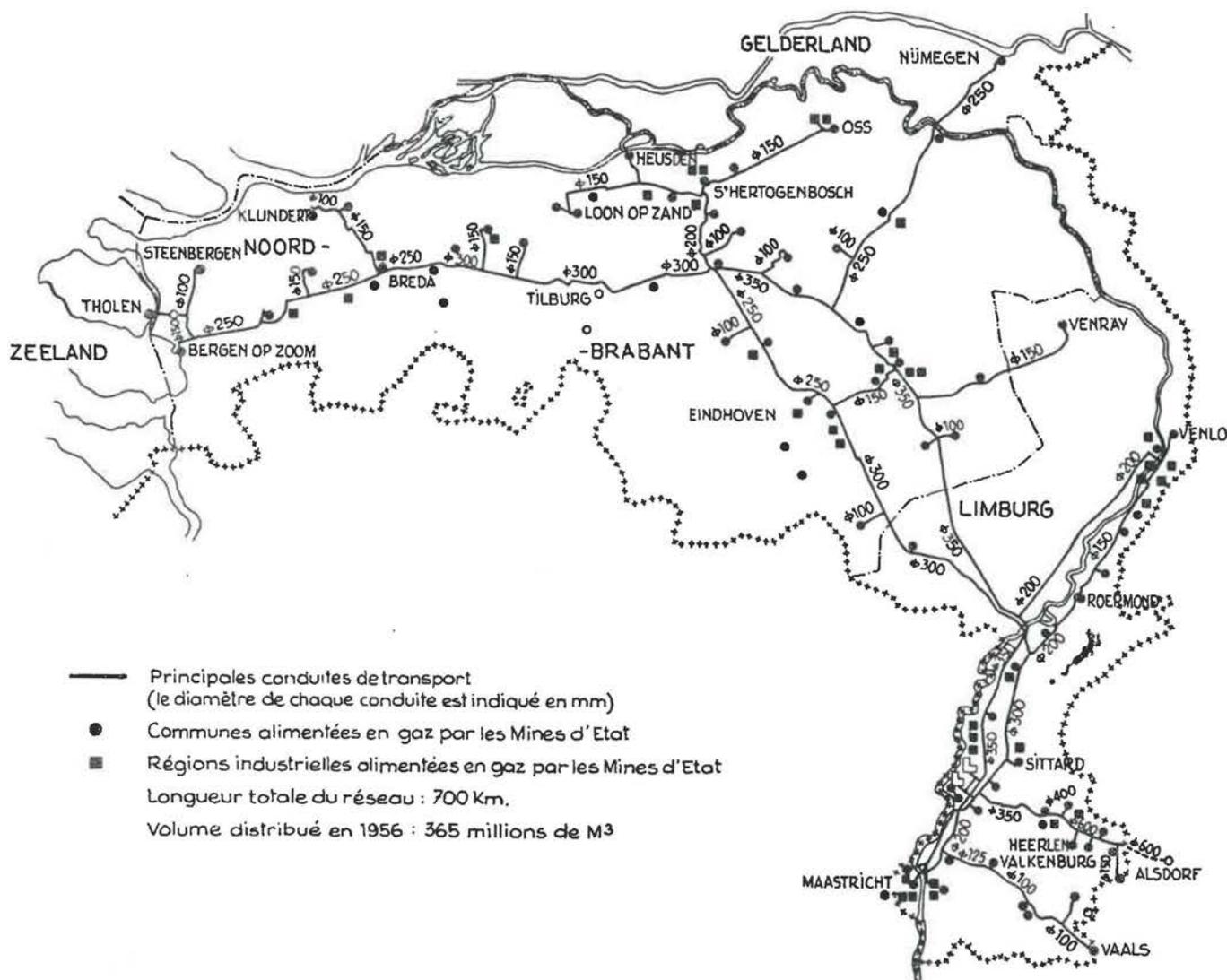


Fig. 20. — Plan du réseau de distribution de gaz à longue distance.

En prévision de cette situation, les conduites principales posées après 1945 avaient été conçues pour l'application de pressions pouvant atteindre 32 atm en sorte qu'il a suffi de renforcer les compresseurs. Durant la saison de 1954/55, deux de ces machines ont été mises en marche, chacune d'une capacité de 25 000 Nm<sup>3</sup>/h pour des surpressions allant de 7 à 24 atm; fin 1956, une troisième unité du même type a été mise en service et une quatrième est actuellement en construction.

Les quantités de gaz livrées annuellement pour les usages domestiques et industriels ont varié comme suit :

1954	311 millions de m <sup>3</sup>
1955	333 millions de m <sup>3</sup>
1956	365 millions de m <sup>3</sup>

La figure 20 montre l'extension du réseau à haute pression dont la longueur totale atteint actuellement 750 km.

#### Traitement du goudron et du benzol.

Dans le cadre des renouvellements à réaliser à la cokerie Maurits, il a été décidé, il y a quelques années, de construire une nouvelle installation de distillation pour le traitement du goudron des deux cokeries.

Cette installation, du type Wilton, sera mise en marche d'ici quelques mois. Elle pourra traiter 300 tonnes de goudron brut par jour et décomposer celui-ci en un grand nombre de fractions de haute pureté.

L'usine de distillation et de raffinage du benzol, achevée en 1954 à la cokerie Emma, a une capacité d'environ 100 tonnes par jour; elle traite le benzol des deux cokeries et donne entière satisfaction.

Nous mentionnerons encore l'introduction d'une nouvelle méthode de désulfuration du benzène, qui nous permettra à l'avenir de livrer, suivant la spécification « Benzène-H », un produit ne contenant plus que des traces de soufre.

#### Préparation d'engrais azotés.

La préparation d'ammoniaque partant du gaz de four à coke a été maintenue pendant les dernières années à un niveau constant de 80 000 à 90 000 tonnes d'azote par an.

À côté de cette méthode classique, nous avons introduit depuis 1949 un procédé continu de gazéification de coke par un mélange de vapeur, d'air et d'oxygène dans des générateurs à grille rotative.

Ce procédé a entièrement répondu à notre attente et nous lui avons donné, au cours des deux dernières années, une extension importante. La capacité de production annuelle a été augmentée

jusqu'à environ 90 000 tonnes d'azote combiné de sorte qu'il nous est maintenant possible de produire au total environ 180 000 tonnes d'azote par an.

En ce qui concerne les méthodes appliquées, mentionnons encore ce qui suit.

Depuis 1952, les Mines d'Etat disposent, sur le carreau de la nouvelle Cokerie Emma, d'une usine d'oxygène fonctionnant suivant le principe Linde-Fränk, une capacité de 450 tonnes d'oxygène brut par jour.

Cet oxygène est en partie utilisé comme indiqué ci-dessus pour la production de gaz de synthèse en vue de la fabrication d'ammoniaque; le reste sert à la gazéification de coke dans des générateurs à fusion de cendres, pour l'approvisionnement en gaz de chauffage des fours à coke.

Depuis peu, on utilise aussi l'azote brut venant de l'usine d'oxygène. Celui-ci est transporté par des conduites à l'usine d'azote, où il subit une épuration chimique, qui le rend propre à la fabrication d'ammoniaque. On réalise ainsi une importante économie d'énergie par rapport aux méthodes usuelles d'extraction de l'azote de l'air par voie physique.

Le supplément d'ammoniaque produit sera utilisé principalement pour la fabrication d'urée; à cet effet, une usine d'une capacité de 55 000 tonnes d'urée par an a été construite au cours des deux dernières années.

Notre capacité annuelle de production pour les différents produits finis est actuellement la suivante :

nitrate d'ammonium amendé de chaux	500 000 t
phosphate-ammono-salpêtre	120 000 t
nitrate de chaux	60 000 t
urée	55 000 t
sulfate d'ammoniaque	grande capacité; mais production actuellement limitée à environ 100 000 t

#### Fabrication de produits organiques.

La fabrication de caprolactame, matière première pour la préparation de fils et de fibres synthétiques, est en ce moment l'élément le plus important et le plus marquant de ce secteur. Après qu'en 1952 on eut entamé la fabrication de ce produit, on a pu réaliser encore différentes améliorations relatives tant à l'emploi des matières premières et auxiliaires qu'à la qualité du produit. En même temps, on a réalisé des augmentations de capacité à différents stades du processus. Grâce à ces mesures, la capacité de production a été graduellement augmentée jusqu'au niveau actuel de 20 tonnes par jour.

Les différentes matières premières et auxiliaires qui sont nécessaires à la fabrication de caprolactame, telles que : hydrogène, ammoniaque, acide

nitrique, bioxyde de soufre et oléum, sont toutes livrées par l'usine d'azote.

A part la fabrication de caprolactame, nous avons entamé dans nos usines pilotes la préparation du sel de nylon qui est également une matière première pour les fils et les fibres synthétiques.

Comme le caprolactame, le sel de nylon compte parmi les polyamides. Pour ce produit aussi, le phénol sert de matière première ainsi que différents produits chimiques provenant de l'usine d'azote.

La capacité de l'usine d'anhydride phtalique est maintenue au niveau de 1954, à savoir à 2 000 tonnes par an.

L'alcool éthylique et l'éther éthylique, qui sont fabriqués à partir de la fraction d'éthylène à 45 %, fraction que l'on obtient pendant la préparation de l'ammoniaque à partir des gaz de fours à coke, trouvent un débouché tel que l'usine d'alcool marche continuellement à pleine capacité.

Actuellement, des préparatifs sont en cours pour la préparation d'un nouveau produit : le polyéthylène, à base d'éthylène. Sous peu, une usine pilote sera achevée pour la préparation de ce produit, suivant le procédé du Prof. Ziegler (procédé à basse pression). Une installation technique est déjà en voie de construction et sera achevée vers la fin de 1958.

\* \* \*

L'exposé de M. van Waes a été accompagné de la projection de nombreuses figures et diagrammes relatifs à l'évolution de la production des produits chimiques dans les usines dépendant des « Staatsmijnen ». Deux de ces diagrammes, reproduits aux figures 21 et 22, illustrent particulièrement bien le magnifique essor de cette industrie dérivée de la houille.

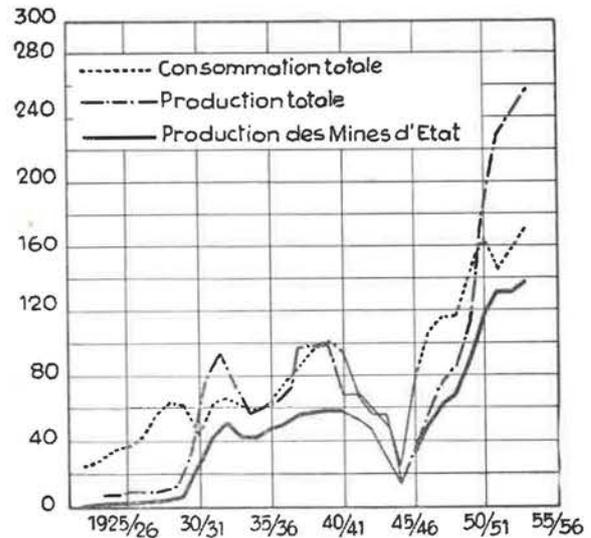


Fig. 21. — Production et consommation d'engrais azotés aux Pays-Bas (en milliers de tonnes d'azote par an).

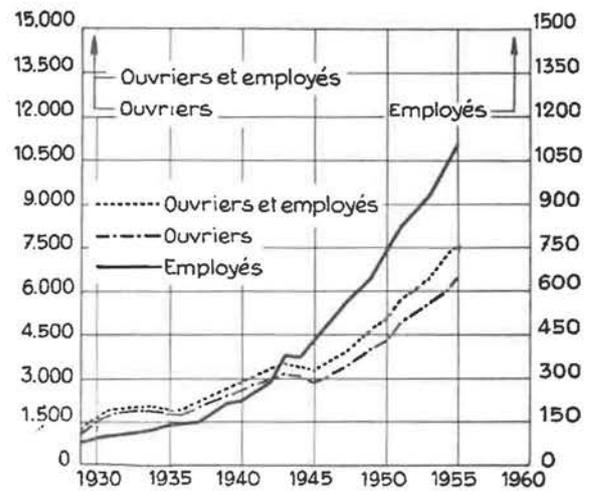


Fig. 22. — Main-d'œuvre totale du département chimique des Mines d'Etat.

### VISITE DES USINES CHIMIQUES ET DE L'USINE PILOTE DE PRODUCTION DE CARBURE DE CALCIUM

Les délégués de la commission internationale ont eu le loisir d'apprécier l'ampleur des réalisations des Mines d'Etat Néerlandaises, dans le domaine de la valorisation chimique de la houille, au cours d'une promenade en autocar sur le territoire des usines chimiques. Ces usines s'étendent sur une superficie de près de 80 hectares, découpée par un quadrillage d'avenues. Tout le long de celles-ci, des rangées de poteaux en béton armé de modèles standardisés servent de support aux innombrables conduites qui relient entre elles les différentes unités.

Au cours d'une halte, les délégués ont visité l'usine pilote de production de carbure de cal-

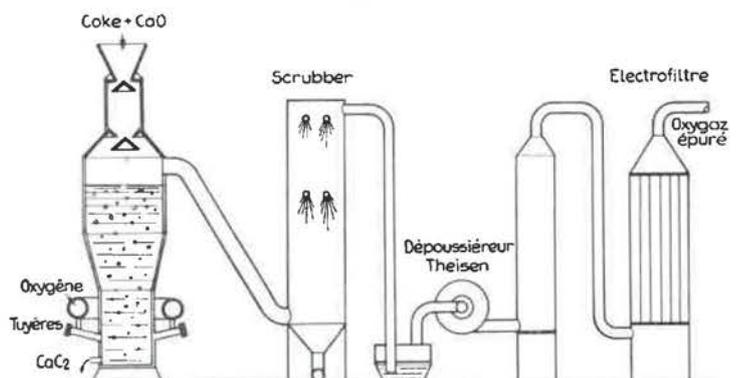


Fig. 23. — Schéma de principe de l'usine pilote de production de carbure de calcium.

cium. Cette installation, schématisée à la figure 23, comporte essentiellement un gazogène à fusion de cendres avec les divers accessoires nécessaires à l'épuration du gaz.

Un mélange de coke et de chaux en proportions convenables est introduit au sommet du gazogène par un dispositif de sas de type classique.

La gazéification est réalisée par insufflation d'oxygène à travers une couronne de tuyères disposées à la base de l'appareil; vis-à-vis de ces tuyères, la combustion partielle de la charge porte la température au niveau de 3 000° C. Dans cette zone à très haute température se produit la réduction de l'oxyde de calcium par l'excédent de carbone de la charge, tandis que dans le haut de la cuve se déroulent les réactions classiques de ga-

zéification. Le carbure formé est coulé de façon intermittente par un trou de coulée situé à la base de l'appareil.

Aucun réfractaire n'est prévu dans la zone à très haute température, la scorie figée, au contact d'un water-jacket, tenant lieu de réfractaire.

Le développement du procédé permettrait d'obtenir une grande quantité de carbure impur d'un prix de revient remarquablement bas et pourrait donner naissance à une nouvelle industrie chimique basée sur l'acétylène.

La même installation peut d'ailleurs être utilisée à d'autres fins et servir à la production jumelée d'oxygaz et de ferro-silicium, moyennant une modification adéquate de l'alimentation du gazogène.

### III. — LA COKERIE MAURITS

#### EXPOSE SUR LE FOUR A PAROI MOBILE

par Ir. J. EX

L'expérience acquise par différentes cokeries a démontré que les parois des fours à coke peuvent être gravement détériorées par suite des pressions de gonflement qui se produisent durant la carbonisation.

En 1930 et 1931 déjà, nous avons constaté nous aussi des déformations de parois dues au gonflement des charbons. Plusieurs fours qui n'avaient fonctionné que pendant une année durent être mis hors service, tandis que d'autres ne se laissaient défourner qu'à un ampérage très élevé.

Après défournement, nous constatons une flexion des parois. La qualité des charbons et leur densité de chargement y jouaient un rôle prépondérant.

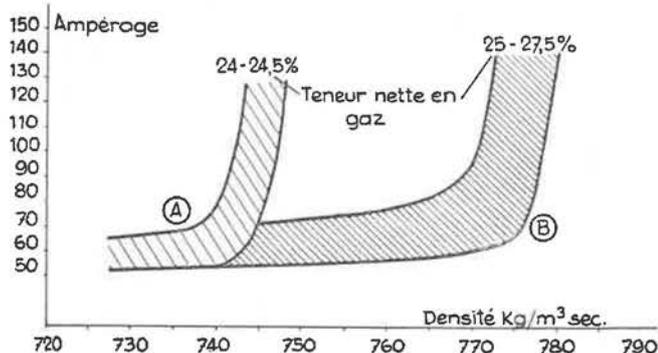


Fig. 24. — Influence de la densité de chargement sur l'ampérage nécessaire au défournement.

La figure 24 montre en premier lieu quelles grandes variations de densité de chargement étaient possibles à l'époque; conséquence du fait que les charbons étaient traités tels quels, sans homogénéisation ni broyage. Il apparaît ensuite que l'influence de la densité sur l'ampérage de défournement est faible, tant qu'une certaine valeur critique n'est pas dépassée. Par contre, au-dessus de cette valeur critique se manifeste une rapide augmentation.

La valeur critique de la densité ne dépend que peu de la teneur en matières volatiles, à condition qu'elle soit supérieure à 25 % (Voir B). Si l'indice de matières volatiles diminue jusqu'en dessous de 25 %, la densité admissible est tout au plus de 740 kg/m³/sec (Voir A). Il est intéressant de noter que « the Pontypridd Test Plant Committee » a conclu lui aussi que les charbons anglais d'une teneur en matières volatiles inférieure à 25 % sont considérablement plus dangereux que ceux d'une teneur supérieure à 25 %.

La figure indique en plus que la densité à laquelle l'ampérage augmente par suite d'une déformation de la paroi est assez exactement définie. Ces données nous permettaient de fixer le remède exact, à savoir : « maintenir la densité en dessous de la valeur critique, c'est-à-dire en dessous de 740 kg/m³ sec ».

Ceci nécessitait le broyage des charbons, mais les broyeurs n'étaient pas immédiatement dispo-

nibles, en sorte que l'application de cette mesure demandait de longs délais. Suivant le schéma de défournement et de remplissage utilisé, à l'époque, à la cokerie Maurits, les fours juxtaposés se trouvaient dans une phase de carbonisation tout à fait différente; il y avait des différences de phase de 9 et de 15 h et les parois des fours montraient une convexité toujours dans le même sens.

C'est pourquoi nous avons établi un schéma de remplissage et de défournement dans lequel ladite différence était réduite à 1 1/2 h au maximum, en sorte que les pressions de gonflement se produisent à la fois des deux côtés de la paroi.

L'application de ce schéma eut un effet remarquable. Lors du passage au nouveau schéma, l'ampérage moyen nécessaire au défournement diminua rapidement (fig. 25). Il fut même possible de remettre en service les fours déjà arrêtés.

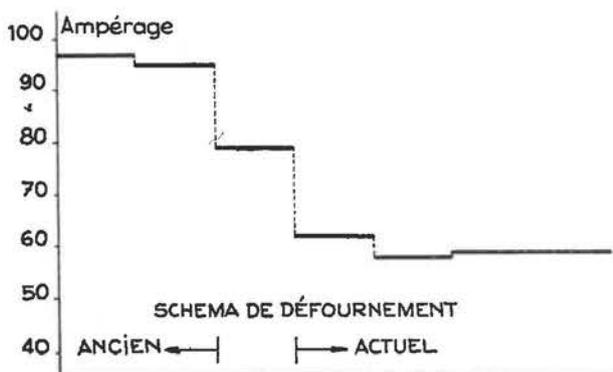


Fig. 25. — Réduction de l'ampérage à la suite de la modification du schéma de défournement.

Au moment où les broyeurs furent disponibles, nous avons pu réduire la densité jusqu'en dessous de la valeur critique en assurant ainsi une sécurité supplémentaire (fig. 26). Les données de cette figure sont relatives à des charbons d'une teneur en matières volatiles de 24 — 24,5 %.

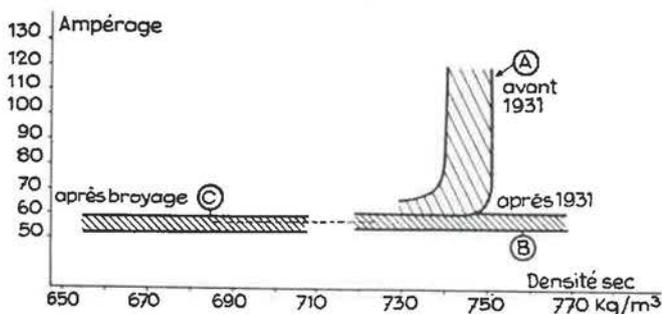


Fig. 26. — Evolution de l'ampérage de défournement avec les conditions d'exploitation pour un charbon à 24-24,5 % M.V.

Le groupe A des données a été obtenu pendant la période durant laquelle l'ancien schéma de défournement était encore en vigueur et le groupe B après l'application du nouveau schéma. Après la mise en marche des broyeurs, la densité se trouva

ramenée dans la région C. Depuis cette époque, nous avons traité des charbons d'une densité de  $\pm 700 \text{ kg/m}^3$  sec et les difficultés résultant de pressions dangereuses ne se sont plus manifestées.

Néanmoins, il nous faudra tenir compte du fait que des modifications dans la composition des mélanges de charbons s'annoncent par suite de l'exploitation de gisements plus profonds, par suite de la création de nouvelles houillères dans le cadre des Mines d'Etat et en raison de l'augmentation relative des quantités de charbons de provenance extérieure, par exemple dans le cadre de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier.

Il est évident qu'un choix optimum des conditions de marche n'est réalisable que par l'étude du pouvoir gonflant des divers types de charbons et de leurs mélanges.

Comme aucun appareil de laboratoire développé jusqu'à présent ne donne une idée exacte de ce pouvoir gonflant, nous sommes, à l'exemple des Etats-Unis et de l'Angleterre, passés à l'examen du gonflement à échelle semi-industrielle dans un four à paroi mobile (fig. 27).

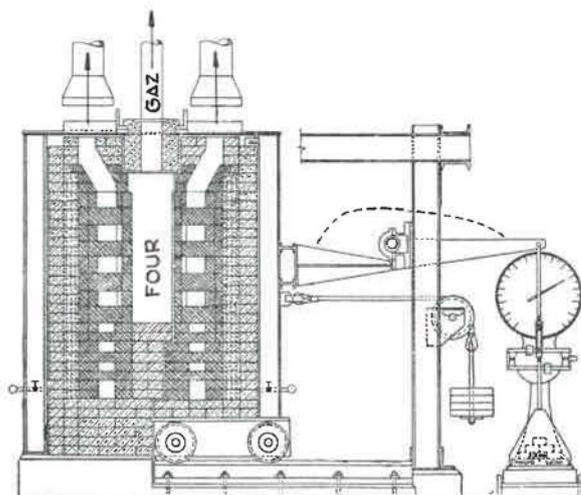


Fig. 27. — Schéma du four à paroi mobile.

La capacité du four est de  $\pm 300 \text{ kg}$ . La chambre a une largeur de 45 cm, une longueur de 77 cm et une hauteur de 95 cm. Une paroi est solidaire d'un châssis métallique équipé de roues et monté sur rails (la paroi mobile). La poussée exercée sur cette paroi est transmise à une balance, par un jeu de leviers.

Comme je viens de le dire, le facteur qui exerce une influence prédominante sur la poussée, est la densité. La figure 28 montre la corrélation entre la densité et la poussée dans le four d'essai, telle qu'elle a été déterminée pour diverses sortes de charbons. Connaissant cette influence, on voit qu'il est de grande importance d'étudier de plus près les détails de la répartition de la densité dans un four technique. C'est pourquoi nous avons con-

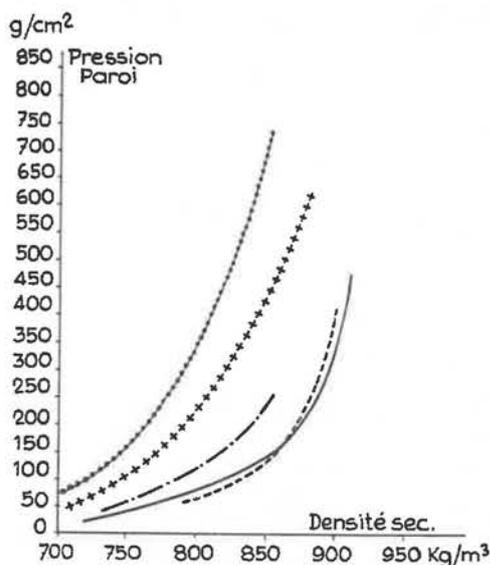


Fig. 28. — Résultats de l'essai de différents charbons au four à paroi mobile.

struit un four en bois que l'on peut remplir de façon normale à l'aide d'une enfourneuse. Les parois latérales sont pourvues d'ouvertures permettant de prendre des échantillons pour déterminer les densités locales.

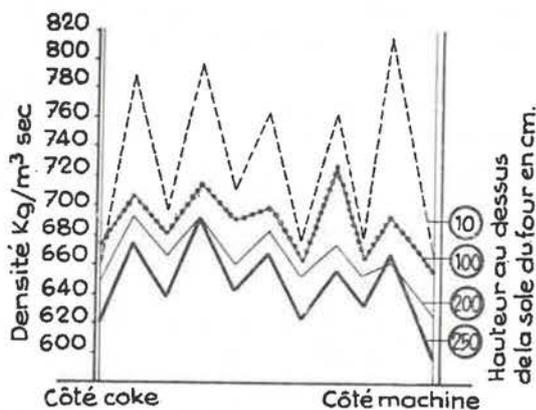


Fig. 29. — Etude de la variation des densités de chargement dans le four en bois.

La figure 29 montre le résultat de quelques mesures. Les courbes indiquent la répartition de la densité de chargement à diverses hauteurs. Nous constatons qu'en dessous des ouvertures de chargement, la densité est considérablement plus élevée qu'ailleurs et que la densité va croissant de haut en bas.

Les densités maxima dépassent parfois de 20 % la moyenne.

Une amélioration de la répartition de la densité implique que l'on peut choisir une densité moyenne plus élevée et augmenter, en conséquence, la capacité de la batterie. Dans le four en bois, nous avons étudié, en outre, différents facteurs qui permettent d'améliorer la répartition de la densité.

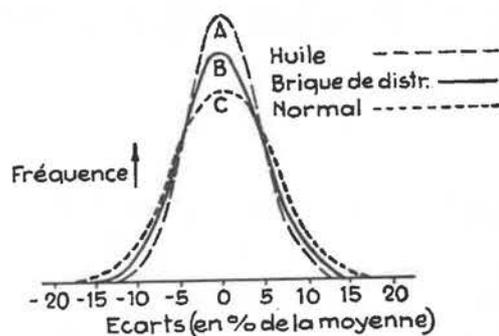


Fig. 30. — Influence de la brique de distribution et de l'addition d'huile sur la répartition des densités dans le four en bois.

La figure 30 montre l'influence des briques de distribution dont les trous de chargement de deux de nos batteries sont équipés, ainsi que l'effet d'une addition d'huile, aux charbons. Les déviations maxima, qui au départ sont de  $\pm 20\%$ , sont réduites à  $\pm 15\%$  par l'emploi de briques de distribution et à  $\pm 13\%$  par l'addition d'huile.

Restait à savoir quelle pression moyenne de paroi est admissible dans un four technique. En profitant de la nécessité de remplacer quelques batteries, il nous a été possible de remplir des fours, vieux de 30 ans, avec des charbons fortement gonflants. Ainsi nous avons pu constater qu'une pression moyenne de paroi de  $\pm 100\text{ g/cm}^2$  suffit déjà à amorcer une déformation de la paroi.

Il est curieux de constater que les composants de nos charbons à coke donnent le plus souvent une pression dangereuse, alors que les mélanges sont normalement sans danger.

Ni la teneur nette en gaz, ni l'allure du gonflement libre, ni la plasticité ou l'allure du dégagement de gaz n'ont pu donner une corrélation utilisable avec la poussée mesurée dans le four à paroi mobile. Peut-être, l'analyse du degré de houillification des composants du mélange, que nous venons d'entamer, nous permettra-t-elle d'obtenir des résultats pratiques ?

Il semble en effet que, dans un cas isolé, l'analyse de ce degré de houillification nous ait donné l'explication de la conduite d'une espèce de charbon qui, malgré sa plasticité élevée, provoquait des déformations dans un four technique.

Pour terminer, signalons encore que nous avons, en ce qui concerne le four à paroi mobile, ajusté les densités à celles que l'on trouve dans un four industriel. Cependant, en faisant cet ajustement au moyen d'un séchage plus ou moins poussé, on change le caractère de la charge, en sorte que la cuisson ne se poursuit plus d'une façon identique à celle que l'on réalise dans un four technique. Les résultats obtenus ne sont donc pas directement comparables à ceux d'une installation industrielle.

## ESSAIS DE FABRICATION D'ANTHRACITE SYNTHETIQUE AUX MINES D'ETAT

par Ir. G. KARDAUN

Depuis des années déjà, les Mines d'Etat s'occupent de la fabrication d'un anthracite synthétique. Ces recherches ont pour causes : le manque croissant de charbons domestiques en Europe occidentale et le désir de trouver un procédé de traitement des fines maigres meilleur que l'agglomération au brai, les boulets obtenus par cette dernière méthode n'ayant pas grand succès, en raison de leur dégagement de fumée.

Nous cherchons également à traiter par ce procédé, non seulement nos fines maigres, mais aussi nos charbons semi-bitumineux et nos charbons gras afin d'élargir la base de notre production, actuellement limitée à 500 000 t de fines maigres par an.

Dans notre pays, les logements sont généralement chauffés à l'aide de poêles à feu continu alimentés une ou deux fois par jour. Les noisettes d'anthracite et de charbons maigres, en particulier les braisettes III, constituent un combustible idéal pour ces poêles et, dans un appareil relativement simple, elles peuvent être brûlées avec un rendement assez élevé (70 — 80 %). Les agglomérés au brai ne sont guère utilisés, à cause de leur production de suies et de fumée qui encrassent les plaques de mica et les cheminées.

Bien que les poêles à combustibles liquides soient devenus, ces derniers temps, d'un usage courant (25 % environ des poêles vendus sont des poêles à combustible liquide), nous croyons qu'un marché assez large reste ouvert pour l'anthracite.

Le problème est donc de fabriquer, à partir de charbons donnés, un anthracite synthétique d'une grosseur voisine de celle des braisettes III.

A défaut d'un bon liant sans fumée, relativement bon marché, la seule possibilité de traitement des fines maigres réside dans l'agglomération au brai, suivie de la pyrogénéation à basse température des briquettes ainsi obtenues.

Nous avons appliqué ce procédé dans des fours Disticoke à chambres inclinées, semblables à ceux qui sont utilisés en France et en Angleterre. Notre usine pilote a un rendement de plus de 100 t par jour; elle comporte 4 groupes de 3 fours et est en service depuis la fin de 1953.

Les principaux résultats obtenus sont résumés ci-dessous. A partir de 100 t d'agglomérés au brai (à 1 % d'eau), on obtient :

	87 t de boulets carbonisés
	3 t de morceaux
et	5 t de débris

Soit au total 95 t (à 5 % d'eau).

Les caractéristiques du produit fini sont les suivantes :

poids (la pièce)	25 g
résistance à l'écrasement	250 kg
matières volatiles	5 %
teneur en cendres	5 %

Ces résultats correspondent sensiblement à ceux qui ont été signalés à la Commission lors de sa visite de l'année dernière aux grandes installations de « Phurnacite » d'Aberaman.

En traitant des charbons faiblement collants, on se heurte à de grandes difficultés, les boulets ont tendance à coller en grappes et le produit fini est fortement fissuré. En traitant des charbons semi-bitumineux contenant 14 à 16 % de matières volatiles et ayant un indice de gonflement de 1, ces difficultés deviennent insurmontables.

Nous espérons pourtant que l'utilisation d'un liant modifié permettra la valorisation des charbons de ce type. L'application d'un gaz de rinçage pendant une partie de la période de pyrogénéation s'est avérée favorable pour éviter le collage.

En suivant exactement les prescriptions, l'usine fournit un produit excellent. Cependant les possibilités des fours sont limitées, en ce qui concerne les variations de régime, et les frais de cokéfaction sont relativement élevés.

Nous avons essayé, par l'emploi d'autres types de fours, d'améliorer tant les investissements de capitaux que les frais totaux et les conditions de travail. La cokéfaction sur grille mobile nous semblait une méthode élégante permettant de carboniser les agglomérés en lit fixe et par un processus continu. Nous avons étudié plusieurs possibilités de chauffage, tant le chauffage autogène selon le procédé Shawinigan que le chauffage par radiation et par transmission de chaleur au moyen de gaz chauds. Au début, nous nous sommes heurtés à de grandes difficultés du fait qu'un chauffage trop rapide des agglomérés dans leur domaine de plasticité entraîne souvent de graves déformations (fissuration).

Par des mesures déterminées et avant tout par un réglage exact de la vitesse de chauffage, nous avons réussi à diminuer la tension du gaz dans les agglomérés pendant leur état plastique, de façon telle qu'aucune déformation ne se présentât. Les essais ont été effectués dans une petite installation expérimentale de 300 kg/h que vous allez visiter tout à l'heure, et aussi à plus grande échelle, dans un four à grille mobile qu'on a modifié dans ce but. Quant à la qualité du produit, elle

correspond à peu près à celle obtenue au four à chambres.

Dans cette installation, la cokéfaction de noisettes faiblement collantes est possible.

Nous nous efforçons aussi, depuis quelques années, de fabriquer un anthracite synthétique à partir de fines, par un procédé d'agglomération sans liant, susceptible de réduire le prix de revient par la suppression des frais de carbonisation des boulets.

Nous avons appliqué de nouveau la vieille méthode d'agglomération de mélanges chauds contenant des charbons ramollissants. On sait que les conditions de chauffage jouent un rôle très important dans ce procédé.

Par un chauffage ultra rapide des charbons ramollissants, obtenu en les mélangeant, en suspension, avec les charbons maigres, préalablement chauffés, nous avons réussi à obtenir de bons résultats.

A partir du mélange chaud, à 400° C environ, nous avons pu fabriquer des agglomérés de très

bonne qualité, tout d'abord au moyen d'une petite presse à bras, puis dans une installation expérimentale d'un rendement de 1 à 3 t/h où nous avons essayé successivement plusieurs presses jusqu'à 1 t/h.

Cette installation sera équipée prochainement de quelques presses plus grandes.

Comme charbons ramollissants, on peut utiliser des charbons gras ou demi-gras (14 à 15 % M.V.); une addition de 20 à 40 % suffit pour obtenir des agglomérés de bonne qualité. A l'aide d'un microscope, on peut constater que les charbons demi-gras manifestent eux aussi un large ramollissement par suite de la grande vitesse de chauffage.

Il va sans dire que les propriétés des agglomérés dépendent de leur composition. Généralement, on peut dire qu'ils égalent les noisettes maigres en ce qui concerne les propriétés de combustion et le dégagement de fumée, et leur résistance est au moins aussi bonne que celle des agglomérés au brai.

## VISITE DU FOUR A PAROI MOBILE ET DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ANTHRACITE ARTIFICIEL

Comme suite aux exposés de MM. Ex et Kar-daun, les membres de la Commission ont visité l'installation de four à paroi mobile et les installations expérimentales de production d'anthracite artificiel.

*Le four à paroi mobile* ne diffère pas notablement de celui qui a été installé en Grande-Bretagne à la station de Pontypridd.

Les deux parois sont chauffantes, l'arrivée des gaz à la paroi mobile étant assurée par des flexibles en caoutchouc.

Le four est chargé par le haut et ne comporte qu'une seule porte latérale de défournement.

En vue d'obtenir des poussées nettement mesurables, le four travaille avec des charges sèches de densité élevée (de l'ordre de 850 kg/m<sup>3</sup>); ces conditions sont évidemment très différentes de celles des fours industriels et, de ce fait, les caractéristiques des cokes obtenus sont peu comparables.

*L'installation de production de synthracite* comporte 12 fours de 20 cm de largeur, identiques aux fours qui fonctionnent en Grande-Bretagne à l'installation d'Aberaman (\*).

Les boulets destinés à l'alimentation des fours sont préparés à la mine Emma et arrivent par chemin de fer; une courroie transporteuse et un élévateur à godets les amènent dans 4 trémies fixes situées au-dessus des fours.

Le chargement et le déchargement s'effectuent par gravité. La cuisson dure 4 heures et demie, à une température de parois de l'ordre de 800° C.

Les boulets carbonisés tombent dans un bac d'extinction, dans lequel ils sont abondamment arrosés; puis ils sont étalés sur une aire inclinée d'égouttage, avant d'être repris par un transporteur et rechargés sur wagons.

Le gaz de distillation rejoint les collecteurs des gaz de fours à coke de la cokerie, ce qui simplifie notablement l'installation.

*L'installation d'essai de carbonisation sur grille mobile* est schématisée à la figure 31.

Elle comprend essentiellement un four horizontal de 5 à 6 m de longueur et de 50 à 60 cm de largeur. La grille est constituée de petits éléments rectangulaires comportant chacun deux hauses latérales et coulissant sur deux rails fixes disposés parallèlement à l'axe du four. Un vérin à air comprimé est utilisé pour assurer la progression de la grille. Le chargement des boulets s'effectue du côté de ce vérin; à l'extrémité opposée, les éléments de grille arrivés à bout de course basculent en déversant leur chargement dans un

(\*) Le fonctionnement et la disposition de ces fours ont été décrits dans le rapport sur la 5<sup>me</sup> session de la Commission internationale de Valorisation du Charbon de la C.E.C.A. (Voir *Annales des Mines de Belgique*, mars 1956, p. 179-200).

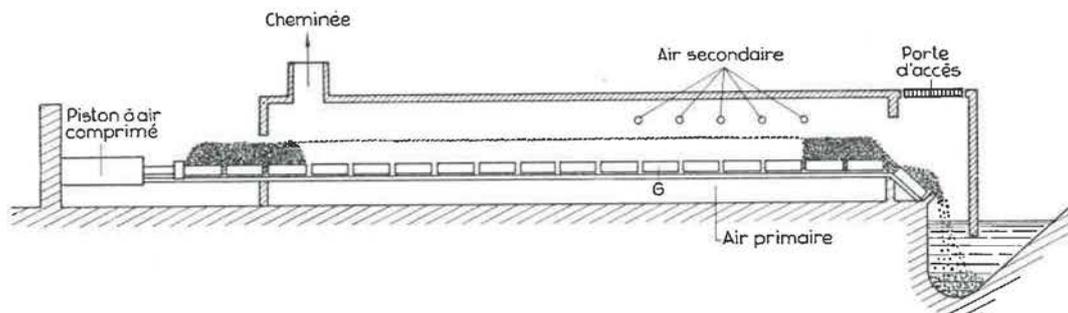


Fig. 31. — Schéma de principe de l'installation expérimentale de carbonisation sur grille mobile.

bain d'eau qui joue le rôle de joint hydraulique. Une porte d'accès permet de reprendre chaque élément de grille et de le reporter au début de l'installation.

Le chauffage du four est réalisé par la combustion des matières volatiles de la charge. La quantité d'air utilisée à cet effet est de l'ordre de  $0,7 \text{ m}^3$  par kg de boulets traités; une partie de cet air est introduit sous la grille et le restant au-dessus de la charge, pour parfaire la combustion des gaz de distillation.

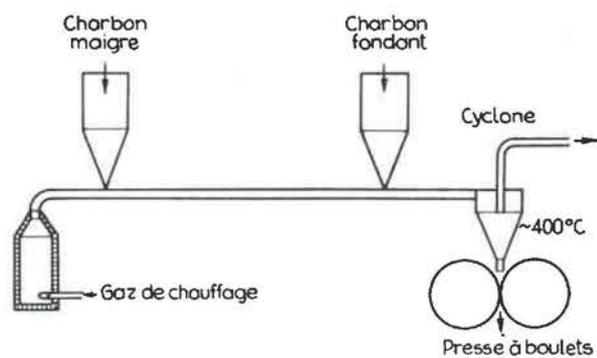


Fig. 32. — Schéma de principe de l'installation d'agglomération sans liant pour fines maigres.

*L'installation d'agglomération sans liant* actuellement en service est représentée à la figure 32.

Elle comporte essentiellement un brûleur à gaz qui fournit la chaleur nécessaire à l'échauffement du charbon, une conduite de transport pneumatique dans laquelle débouchent un alimentateur de charbon maigre et un alimentateur de charbon gras, et un cyclone qui sépare le mélange de char-

bon du gaz porteur et le déverse dans la presse d'agglomération.

Le réglage des différents débits présente une grande importance et est réalisé en utilisant des distributeurs à réglage automatique; l'installation permet d'agglomérer à volonté des fines maigres ou des déchets de coke réduits à la finesse voulue.

Une seconde installation sert à la production d'agglomérés à partir de charbons bitumineux.

La figure 33 montre le schéma de principe de cette installation.

Le charbon bitumineux est introduit dans une cuve de prétraitement où il est converti en semi-coke par une fluidisation à l'air; le semi-coke chaud ainsi obtenu est transporté pneumatiquement vers la presse à boulets. Cette fois encore, l'addition de charbon fondant est réalisée juste avant la presse et le même dispositif de cyclone est utilisé pour séparer le charbon du gaz porteur.

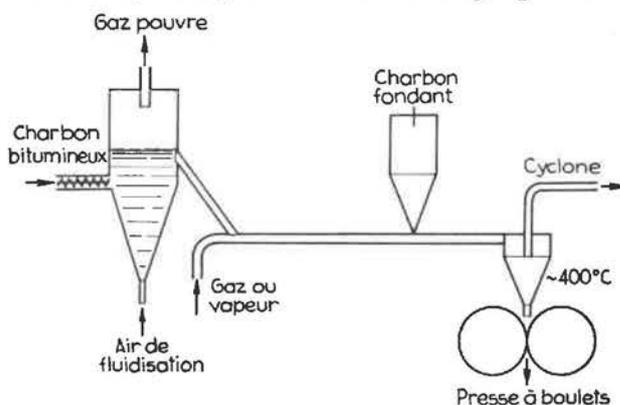


Fig. 33. — Schéma de principe de l'installation d'agglomération sans liant pour charbons bitumineux.

## IV. — LA COKERIE EMMA

Exposé par M. SAUTER

L'actuelle cokerie Emma a été mise en service en 1954; elle remplace la cokerie du même nom, qui se trouvait précédemment à Treebeek, à proximité de la mine Emma. C'est par la construc-

tion de cette dernière cokerie, mise en service peu après la première guerre mondiale, que les Mines d'Etat se sont, pour la première fois, engagées dans la voie de la valorisation des charbons.

L'installation initiale avait une capacité de traitement journalière de 800 tonnes, mais elle fut bientôt développée jusqu'à une capacité de 3 200 tonnes. En 1929 on créa, près de la mine Maurits, une seconde cokerie qui devait s'étendre considérablement au cours des années suivantes. Au début de la deuxième guerre mondiale, les deux cokeries avaient une capacité totale d'enfournement de 10 000 t/jour.

A la suite des dégâts subis durant la guerre et aussi par suite de son âge, la vieille cokerie Emma avait grand besoin d'une restauration complète. En même temps, le manque de place pour le développement des installations de surface de la mine Emma rendait très souhaitable de reconstruire la cokerie dans un autre site plus favorable. On a trouvé ce site à Beek et, de cette façon, toutes les activités des Mines d'Etat, dans le domaine de la valorisation du charbon, se trouvent concentrées à Geleen et dans ses environs immédiats (fig. 34).

quelles la place manquait ailleurs, ou encore d'installations liées aux cokeries par leur nature ou leur schéma de production.

C'est ainsi qu'une centrale thermique moderne fut construite sur le même territoire. Cette centrale est prévue pour l'alimentation en vapeur des deux cokeries, tandis que le courant produit est livré au réseau des Mines d'Etat.

Plus loin, on a construit une usine d'oxygène. Une partie de l'oxygène produit est utilisée à la préparation de gaz de chauffage et une autre partie livrée à l'usine d'azote où elle sert à la préparation de gaz de synthèse. La plus grande partie de l'azote résiduaire est également mise à la disposition de cette usine pour la préparation de l'ammoniaque.

Ce ne sont là que quelques exemples des avantages qui résultent de l'intégration des usines dans un vaste complexe. Le benzol brut est amené en conduite depuis la cokerie Maurits et raffiné en

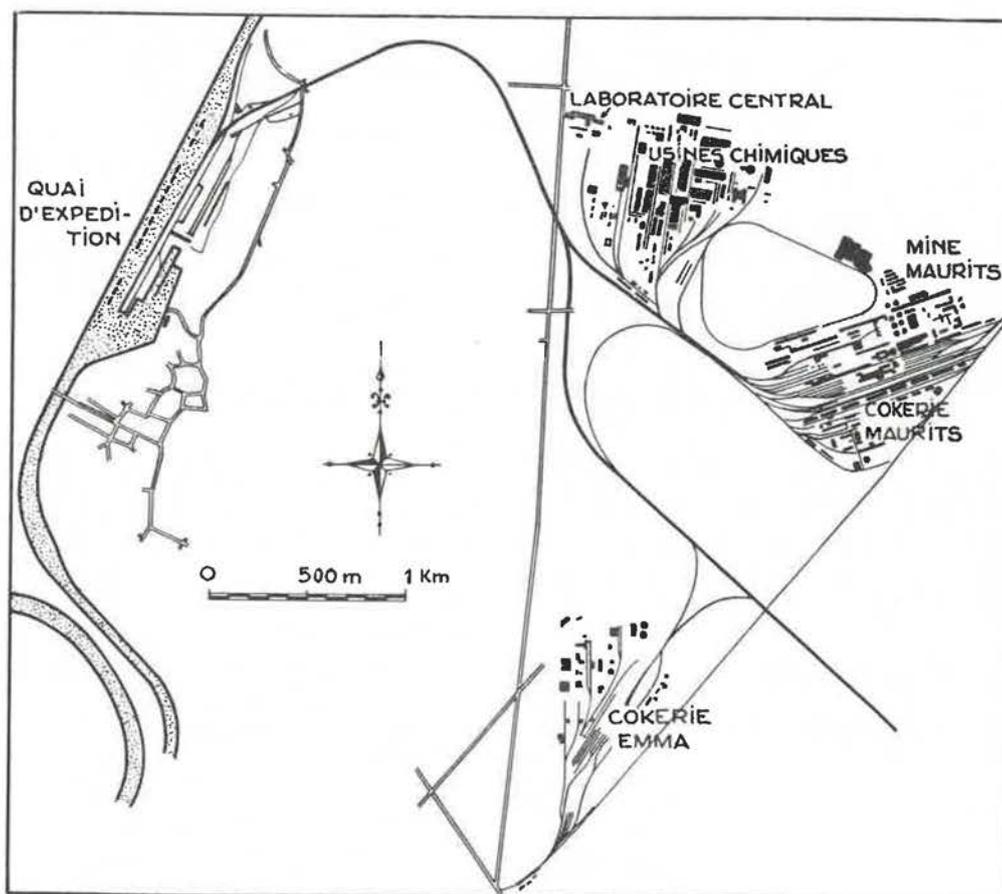


Fig. 34. — Plan d'implantation des cokeries Emma et Maurits et des usines chimiques des Mines d'Etat.

La situation choisie, au voisinage de la cokerie Maurits et de l'usine d'azote, offrait également la possibilité d'utiliser ce nouveau site pour la construction d'installations auxiliaires pour les-

même temps que celui de la cokerie Emma; réciproquement, l'acide sulfhydrique et l'acide cyanhydrique sont envoyés de la cokerie Emma à la cokerie Maurits pour la préparation d'acide sulfu-

rique concentré et de cyanure de potassium. En retour, les usines chimiques livrent à la cokerie l'acide sulfurique à 60° Baumé utilisé pour la préparation du sulfate ammonique. Cette livraison se fait encore actuellement par wagons, mais sera réalisée ultérieurement par une conduite.

Un alignement de poteaux en béton relie la cokerie Emma à la cokerie Maurits et à l'usine d'azote et sert de support à toutes les conduites qui permettent les échanges de gaz et de liquide.

L'aspect général ne rappelle guère celui d'une cokerie conventionnelle. Tous les bâtiments sont en béton et sont séparés par de larges avenues qui découpent le terrain en un grand damier.

Les installations les plus dangereuses, au point de vue de l'incendie : épuration du gaz et raffinage du benzol, sont situées dans deux compartiments voisins et on a pris soin de les séparer par un espace libre suffisant.

Une grande attention a été apportée aux installations sociales. En différents endroits sont installés des bains-douches et des salles de détente, de manière que les ouvriers n'aient qu'une courte distance à parcourir pour atteindre ces locaux. Dans une salle de réunion centrale, les ouvriers peuvent se procurer des tartines et du café et, le dimanche, ils peuvent y obtenir un dîner chaud à très bon marché.

Toute blessure est immédiatement soignée dans une infirmerie dirigée par un médecin. C'est également là que se font les examens d'embauchages

et les examens périodiques des personnes occupées à des travaux peu salubres.

En conclusion de cet exposé, je citerai encore quelques renseignements techniques.

Les premiers travaux de terrassement ont débuté le 2 avril 1950 et en octobre 1954 la cokerie entrainait en service avec deux batteries de 75 fours totalisant une capacité journalière d'enfournement de 3 000 tonnes. En octobre 1956, une troisième batterie de mêmes dimensions était terminée. Les fours sont de type Wilputte et peuvent être chauffés indifféremment au gaz riche ou au gaz pauvre.

Contrairement à la pratique habituelle, le gaz refroidi est comprimé après la récupération de l'ammoniac et avant son épuration finale. Ceci entraîne une amélioration de rendement des installations de lavage du benzol du  $H_2S$  et du  $HCN$ . Ce procédé a pu être choisi, du fait que tout le gaz produit par la cokerie doit être comprimé avant d'être livré au réseau de distribution ou à l'usine d'azote.

Le chauffage des fours est assuré, durant l'été, par du gaz de distillation, à basse pression, provenant de la cokerie Maurits et durant l'hiver, à l'époque des plus grandes demandes de gaz, par de l'oxygaz obtenu en gazéifiant du coke au moyen d'oxygène et de vapeur, dans des gazogènes à fusion de cendres.

Le goudron produit à la cokerie Emma est chargé en wagons-citernes et envoyé à l'installation de distillation de la cokerie Maurits.

### Exposé par le Dr. G. G. H. HAMM

Dans l'exposé, que j'ai le plaisir de vous présenter, je me propose d'insister particulièrement sur la manière dont les Mines d'Etat ont cru devoir aménager une cokerie moderne, compte tenu des conditions locales.

#### Principes généraux.

Les idées qui sont à la base de la construction de cette cokerie sont les suivantes :

1. — La cokerie doit être capable de traiter des charbons de composition différente, provenant de différentes houillères, mais il importe que le mélange de charbons à coke ait une composition aussi constante que possible. Pour cela, nous avons établi un grand bâtiment destiné à stocker les charbons et comprenant 36 silos d'une capacité totale de 11 500 t, en sorte qu'il est possible de diviser les fines selon l'espèce et la qualité et d'obtenir, par dosage et par mélange, une qualité aussi constante qu'on le désire.

Comme les charbons sont acheminés par voie ferrée, il était utile d'enterrer les silos.

La cokerie Emma traite en ce moment des charbons provenant des mines Emma, Hendrik et Maurits. 86 % environ des charbons reçus sont des charbons à coke de bonne qualité, 7 % sont des charbons demi-gras ayant de mauvaises propriétés cokéfiantes et la qualité du reste est intermédiaire. 15 % en moyenne de la quantité amenée sont des braisettes qui sont stockées dans 8 silos séparés et qui sont, après broyage dans des broyeurs à marteaux, dosées et ajoutées au mélange de fines à coke. Les charbons demi-gras peuvent être eux aussi rebroyés à l'aide de broyeurs à marteaux.

L'effet des installations de stockage et de mélange peut être illustré comme suit.

Alors que la teneur en cendres des charbons amenés varie de 6 à 11 % et que 35 % des charbons ont une teneur supérieure à 7,8 %, la variation de la teneur en cendres des mélanges traités dans les fours, n'est pas supérieure à 1 % et 3 %

seulement ont une teneur en cendres supérieure à 7,8 %.

2. — Une très petite partie seulement du coke produit est utilisée à l'intérieur de l'entreprise. La majeure partie est vendue sur les marchés hollandais ou européens. Ceci n'implique pas seulement que la qualité du coke doit être très bonne, pour faire concurrence au coke d'autres provenances, mais encore qu'il faut veiller à ce que les possibilités de concassage et de criblage du coke soient telles qu'on puisse toujours satisfaire à la demande des différents marchés.

Le gros coke est criblé sur des tamis vibrants, alors qu'une grille à 12 rouleaux d'une largeur de fente de  $65 \times 80$  mm se trouve en réserve. Le remplacement des tôles des tamis permet de satisfaire aux exigences variées relatives au calibre du gros coke.

Ensuite, il est possible de concasser le coke métallurgique au moyen de concasseurs à cylindres dentés et de concasser sélectivement certaines catégories, même entre certaines limites, puisqu'une grille à 4 rouleaux se trouve montée devant chaque concasseur à cylindres dentés.

Le petit coke est criblé sur deux grands tamis dont le premier fournit les catégories 0-40, 40-60, 60-85 et  $> 85$  mm. Sur le second, le coke 0-40 est séparé en : 0-10, 10-20, 20-30 et 30-40 mm. Le coke calibré est déversé dans les trémies; avant chargement, il passe sur un tamis, afin d'éliminer les sous-classés.

Aujourd'hui encore, les installations usuelles de tamisage sont équipées de tamis vibrants. A la cokerie Emma, ceux-ci ont été remplacés par des tamis à résonance qui sont jusqu'à présent principalement utilisés pour le criblage des charbons.

Dans ces tamis, les roulements et la lourde commande des tamis vibrants sont supprimés. Les forces exercées sur le cadre sont plus faibles et ceci entraîne une importante réduction des frais d'entretien. Le réglage en est plus simple et la consommation d'énergie n'est que de 30 à 50 % de celle des tamis vibrants.

3. — Comme M. Sauter vient de le dire, la production totale du gaz de la cokerie Emma est destinée aux usages domestique et industriel, ainsi qu'à l'usine d'azote. Ceci entraîne une double conséquence :

a. Etant donné que tout le gaz doit être livré sous pression, on pouvait effectuer l'épuration du gaz, autant que possible, sous pression.

On a constaté qu'une pression de  $8 \text{ kg/cm}^2$  était la plus économique. Une partie du gaz destiné aux usages domestique et industriel doit être livrée sous cette pression et l'on a calculé que le compromis le plus favorable entre le prix de revient des installations d'épuration et le rendement se trouvait également à ce niveau. La production

totale est traitée par trois compresseurs à deux étages, d'une capacité de  $25\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  chacun. Ils ont été fabriqués par Siemag. Un quatrième compresseur est en réserve. Pour éviter les risques d'un encrassement excessif, on a décidé de monter, devant le compresseur, l'appareillage destiné à enlever l'ammoniacque. Le débenzolage, l'enlèvement de l'hydrogène sulfuré et de l'acide cyanhydrique (par un lavage humide avec une solution de sel de soude à 6 %) et l'épuration par voie sèche, à l'aide d'oxyde de fer, s'effectuent sous pression.

b. Etant donné que toute la quantité de gaz produite est épurée et vendue, il faut prendre des mesures spéciales pour assurer le chauffage des batteries.

En été, on peut utiliser dans ce but un mélange de gaz résiduaire de l'usine d'azote et un reste du gaz de fours à coke de la cokerie Maurits.

Pour ne pas être entièrement subordonnée aux autres entreprises et pour assurer la distribution du gaz en hiver, la cokerie Emma est équipée d'une installation de gazéification projetée par Lurgi et dans laquelle le coke peut être gazéifié dans trois gazogènes à l'aide d'oxygène et de vapeur.

Chaque gazogène peut fournir  $25\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  d'oxygaz d'une puissance calorifique nette de plus de  $2\,550 \text{ kcal/m}^3$ .

Ce gaz, qu'on brûle comme gaz riche sous les batteries, a, en cas d'emploi d'oxygène à 91 %, la composition moyenne suivante :

67	% de CO
26	% de H <sub>2</sub>
2,5	% de CO <sub>2</sub>
4,5	% de N <sub>2</sub>

La température dans la zone de réaction relativement petite du gazogène est de l'ordre de  $1\,800^\circ \text{C}$ . Le laitier est évacué à l'état liquide à une température de  $\pm 1\,500^\circ \text{C}$ , il est éteint avec de l'eau et ensuite granulé. Pour augmenter la fluidité du laitier on ajoute, au coke, du calcaire et éventuellement de la scorie de hauts fourneaux.

Le rendement de gazéification de cette installation est très élevé, calculé à partir du coke, il est de plus de 89 %.

Le gaz qui sort du gazogène à une température de  $500^\circ \text{C}$ , est dépoussiéré dans un cyclone et ensuite lavé à l'eau. Etant donné la teneur très élevée en CO, il brûle dans les carneaux de combustion des batteries avec une longue flamme, qui donne un chauffage très régulier de la paroi des fours.

#### Caractéristiques des fours.

Comme M. Sauter vient de le dire, la cokerie a trois batteries de 75 fours chacune qui peuvent en

ce moment, avec une durée de cuisson de 18 h, carboniser 4 650 t/jour de charbons à 8 % d'humidité. Nous avons choisi les fours du type Wilputte underjet compound équipés d'un régénérateur tripartite et de 29 carneaux de combustion verticaux.

Ces batteries ont les particularités suivantes :

1. Un barillet double (côté coke et côté machine). Ceci permet une meilleure aspiration du gaz, entraîne un plus faible cracking des composants et facilite la réalisation d'un enfournement sans fumée, par injection de vapeur pendant le remplissage.

2. Chaque four a trois ouvertures de remplissage. Bien que des soins particuliers soient nécessaires, il paraît, par la pratique, que trois ouvertures suffisent.

3. La répartition de l'air et du gaz brûlé entre les régénérateurs est réalisée au moyen d'un système d'orifices Venturi calibrés situés entre les régénérateurs et les carneaux horizontaux supérieurs et inférieurs.

Cette répartition, qui se distingue par sa simplicité, donne entière satisfaction.

4. Les portes automatiques sont du type à contact «fer sur fer». Les arrache-portes à commande hydraulique sont partiellement automatiques. Un travail minimum permet d'obtenir un joint parfait.

A la cokerie Maurits, on utilisait déjà, depuis plusieurs années, une batterie de ce type, au moment où l'on a décidé de l'appliquer à la cokerie Emma.

#### Raffinerie de benzol.

Les plans de cette usine ont été projetés par les Mines d'Etat et élaborés par la firme Disticoke.

Bien que l'on ait envisagé, à l'époque, l'application du raffinage du benzol brut par hydrogénation sous pression, on ne l'a pas appliqué, en particulier, pour ne pas être contraint à vendre une partie du benzol épuré comme benzol moteur. Les Mines d'Etat disposaient d'un procédé permettant d'obtenir une qualité de benzène qui pouvait soutenir la concurrence.

Après un mélange du benzol brut des cokeries Maurits et Emma, le liquide est d'abord soumis à une prédistillation continue pendant laquelle on sépare des fractions qui pourraient, pendant le lavage suivant avec de l'acide sulfurique fort, entraîner des pertes considérables. C'est ainsi qu'une fraction riche en cyclopentadiène et une fraction riche en indène sont disponibles pour un traitement ultérieur. En même temps, on obtient de l'huile de lavage pauvre en naphthaline qui est recyclée aux scrubbers pour assurer le dénaphthalinage du gaz.

Quelques colonnes qui produisent de l'huile de naphthaline et de l'huile de coumarone sont chauffées à l'aide de dowtherms et deux installations à dowtherms chauffées au gaz ont été établies, dans ce but, à quelque distance de l'usine à benzol.

Après la prédistillation, on obtient une fraction de benzol léger et un mélange, composé principalement de toluol et de xylols. Ces deux liquides sont lavés séparément avec de l'acide sulfurique et de la lessive de soude caustique, dans un appareil à fonctionnement continu. Les distillations suivantes avec désulfuration en phase vapeur permettent de fournir des produits finis qui remplissent des conditions très sévères.

#### Laboratoire.

Au cours de la visite de notre laboratoire, on vous montrera spécialement l'appareillage destiné à l'analyse chromatographique des gaz et des huiles.

Cette méthode, très moderne, qui a été élaborée pour nous avec le concours du Laboratoire Central des Mines d'Etat, permet une analyse rapide et très exacte de très petits échantillons de gaz ou d'huile.

Dans une colonne chromatographique remplie de briques réfractaires ou de Kieselguhr imprégnés, on obtient une séparation très nette des composants du gaz ou de l'huile. La différence de conductibilité thermique du gaz porteur pur et du gaz porteur mélangé avec les composants séparés du gaz à examiner fournit une mesure précise de la teneur de ces composants.

En ce qui concerne les huiles, les composants qui sont séparés par la colonne sont brûlés. On passe ensuite à la détermination du pouvoir conducteur thermique des produits de combustion. L'ensemble du dispositif est schématisé à la figure 35.

Quelques cm<sup>3</sup> de gaz ou quelques mg d'huile suffisent déjà pour effectuer une analyse. Le pou-

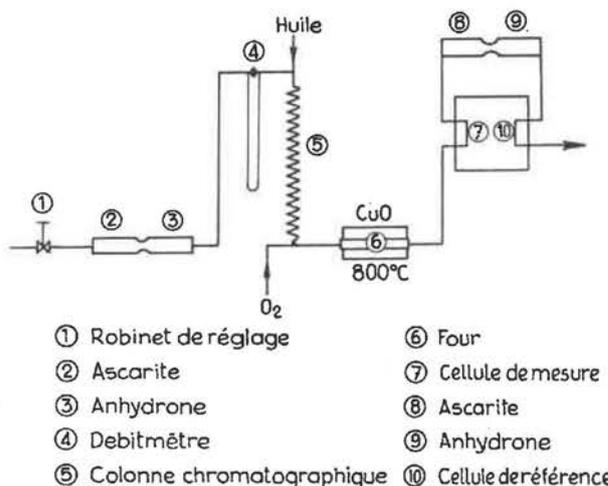


Fig. 35. — Schéma du dispositif de chromatographie des huiles.

voir séparateur de la colonne chromatographique correspond à  $\pm 1\ 000$  plateaux théoriques.

Les composants sortent l'un après l'autre de la colonne, à une vitesse qui dépend de la quantité du gaz porteur. On obtient donc un diagramme qui représente la déviation du catharomètre en MV, en fonction du temps.

Je vous signalerai pour terminer que les détails des différentes installations se trouvent décrits dans un article de MM. van Waes et Quanjel pu-

blié dans « Coke and Gas » en mars et avril 1956 (\*).

\* \* \*

Les deux exposés ont été suivis d'une visite détaillée de la cokerie et de ses annexes, au cours de laquelle les délégués de la commission ont pu voir les batteries de fours à coke, l'installation de raffinage du benzol, la station centrale de commande et de réglage de la distribution de gaz à longue distance, l'installation de production d'oxy-gaz, le laboratoire et les vastes installations sociales de bains-douches, de réfectoires et d'infirmerie.

## V. — LE CENTRE DE RECHERCHES MINIERES DES MINES D'ETAT

Exposé par le Dr. C. KRIJGSMAN

Chef du Département des Lavoirs.

Je me fais un honneur de vous souhaiter la bienvenue à notre laboratoire, en mon nom et en celui de mon collègue, le Dr. de Braaf.

Le caractère des travaux de votre Commission porte plus spécialement votre intérêt sur le travail effectué au département des lavoirs du Centre de Recherches. Aussi me suis-je proposé de vous donner, après une courte introduction générale, quelques détails sur les travaux effectués dans ce domaine.

### Organisation générale du Centre de Recherches.

Depuis plus de 25 ans, le Centre de Recherches s'occupe des recherches dans le domaine de l'exploitation et du traitement du charbon. Le laboratoire modeste du début, avec un effectif de quelques personnes seulement, est devenu un institut qui occupe actuellement environ 280 personnes.

(\*) The New « Emma » Coking Plant of the Netherlands State Mines par J.P.M. van Waes et H.E. Quanjel.

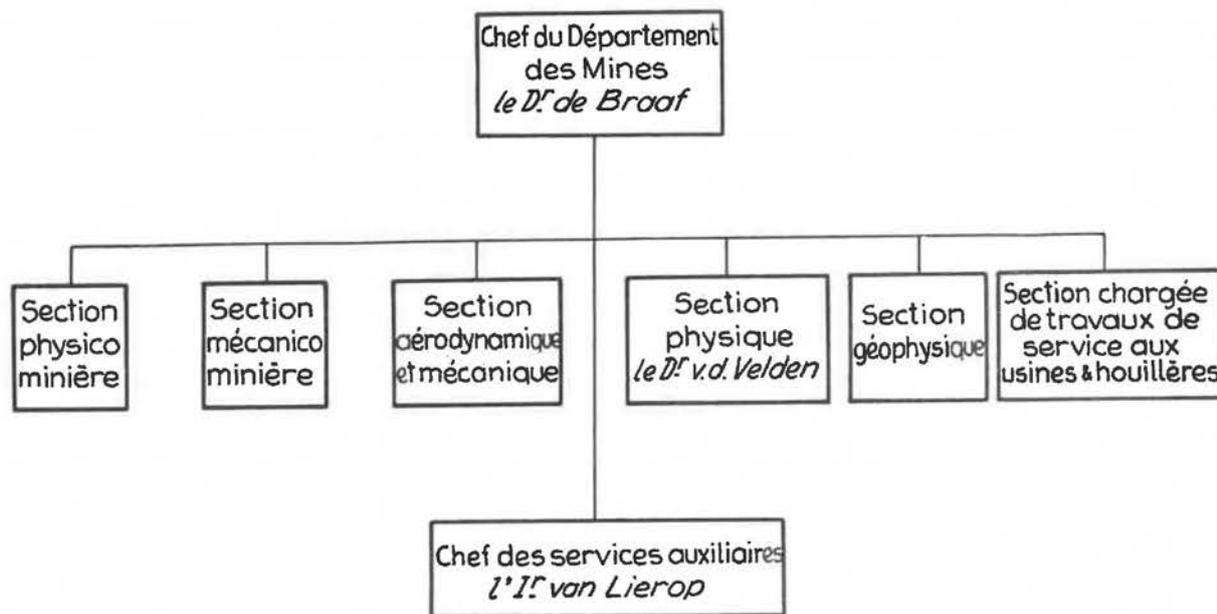


TABLEAU II.

Non seulement le nombre de problèmes s'est multiplié, mais encore le caractère de nos activités s'est diversifié au cours des années. Si la tâche du centre fut à l'origine d'aider à la solution de difficultés d'exploitation aiguës, aujourd'hui une part essentielle de nos travaux est consacrée à l'étude des causes des difficultés et des mesures propres à les prévenir, à l'avenir. Une autre part importante de notre programme est réservée à l'étude des difficultés auxquelles il faut s'attendre dans les temps futurs, par suite des nouveaux développements de l'exploitation du charbon et spécialement du travail à plus grande profondeur; la recherche de nouvelles voies en est la conséquence. Nous consacrons environ 50 % de notre temps au service direct des houillères, 25 % aux développements techniques ultérieurs et 25 % à l'approfondissement des conceptions fondamentales, ce que nous pouvons appeler recherche appliquée.

Nous apprécions beaucoup l'étroite collaboration qui existe entre le laboratoire et les houillères. Cette collaboration est stimulée par le stage

partement des lavoirs comprend les sections mécano-physique, physico-chimique et la section chargée de travaux pour le service des lavoirs.

La S.A. Stamicarbon est chargée spécialement de l'exploitation des inventions en dehors des « Staatsmijnen ».

Cet exposé des différentes sections du Centre ne doit pas vous donner l'impression que ces sections travaillent indépendamment les unes des autres. Au contraire, nous pouvons constater que la collaboration des sections à la solution des problèmes principaux devient de plus en plus intime.

La création de groupes de travail s'est trouvée être particulièrement fructueuse parce qu'elle favorise la collaboration entre les experts dans le domaine de la physique, de la mécanique, de la chimie et de la technique minière.

L'effectif total est de 282 personnes, dont 158 sont occupées directement à la solution des problèmes et dont 124 travaillent dans les services auxiliaires. Le personnel des diverses sections de recherches se compose de 19 diplômés d'université

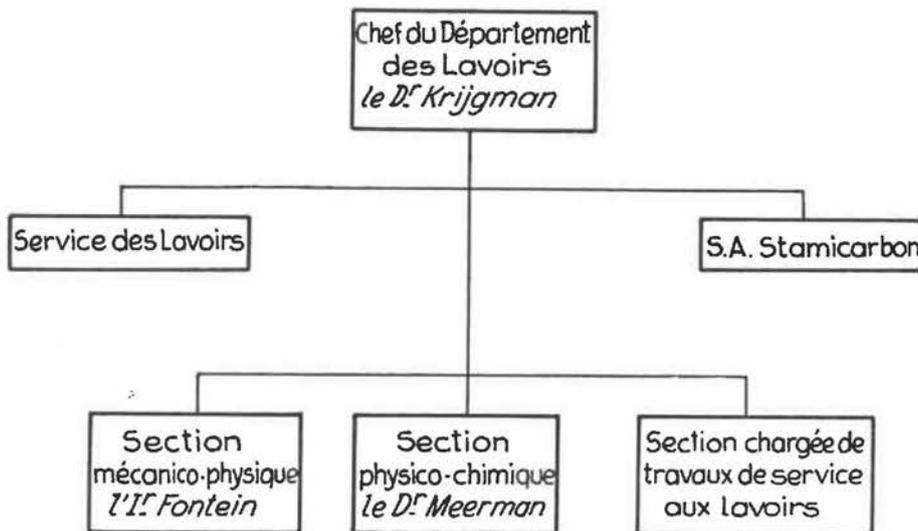


TABLEAU III.

de jeunes ingénieurs du Centre aux usines ou réciproquement par le stage d'ingénieurs d'exploitation, au centre de recherches. En outre, les chefs de service du jour et du fond peuvent faire connaître leurs désirs lors de la discussion annuelle de notre programme de recherches.

Le schéma de l'organisation du Centre est indiqué aux tableaux II et III.

Le centre est divisé en deux départements : le département des mines, sous la direction de mon collègue le Dr. de Braaf, et le département des lavoirs.

Le département des mines comprend les sections mécano-minière, physico-minière, aérodynamique et mécanique, physique, géophysique, ainsi qu'une section spéciale chargée de travaux pour le service des usines et des houillères. Le dé-

(dont 7 physiciens, 10 ingénieurs mécaniciens, 1 physico-chimiste et 1 ingénieur des mines) de 42 anciens élèves des Ecoles Polytechniques et de 97 techniciens de mesure. La formation d'aides-techniciens a été entreprise par nous-mêmes.

A côté de l'étude des problèmes physiques et mécaniques de l'exploitation du fond, à savoir : aérage, soutènement, mécanisation, nous nous occupons activement du fonçage des puits. Les Mines d'Etat comptent pour le moment cinq nouveaux puits en différents stades de forage et de construction. Les puits les plus profonds sont foncés pour la nouvelle mine Beatrix. Le Carbonifère commence ici à 500 m environ. Ces puits sont foncés par le système Honigman-de Vooy qui consiste à forer à l'aide d'un large trépan, dans un puits rempli d'une suspension d'argile. Pendant la visite, on vous donnera quelques détails sur les exi-

gences rhéologiques spécifiques imposées aux boues de forage et sur les méthodes modernes de mesure qui constituent un guide précieux pour le maître sondeur.

#### La recherche dans le Département des Lavoirs.

Je voudrais maintenant entrer dans le détail de quelques travaux effectués au département des lavoirs. Les problèmes rencontrés actuellement diffèrent bien de ceux d'il y a 20 ans. Permettez-moi de vous citer quelques chiffres à ce sujet.

La quantité de grosses pierres ( $> 80$  mm) s'est montée (p.ex. à la mine Wilhelmina) de 10 kg par berline à 100 kg par berline.

A ce fait, s'ajoute encore le peu d'attrait que présente le travail de triage, ce qui a nécessité le lavage mécanique des gros.

La teneur en humidité du charbon brut a augmenté de 3 % à 6 %. Il n'est plus ou presque plus possible de le cribler à 8 mm, par exemple par voie sèche. C'est pourquoi nous nous intéressons de plus en plus au criblage par voie humide.

C'est vers 1935 que le développement des lavoirs à liqueur dense a commencé, mais il a pris un grand essor surtout après la guerre. Les « Staatsmijnen » ont développé leur propre procédé de séparation. Tout d'abord on utilisa comme agent alourdissant des schistes de flottation, présentant l'avantage d'être peu coûteux et d'exister en quantité suffisante sur place. Par contre, ils présentaient l'inconvénient de ne permettre que des séparations à faible poids spécifique (1,6 au maximum). La séparation mixtes-schistes était assurée par un courant ascendant et dépendait de la vitesse de chute des particules.

La séparation s'opérant dans de tels appareils dépend des dimensions des particules, elle est par conséquent moins nette qu'une séparation purement statique. La séparation schistes-mixtes devenant de plus en plus importante en raison de l'augmentation de la quantité de schistes, résultant de la mécanisation de l'abattage, cette séparation est actuellement réalisée de façon statique dans une suspension de magnétite. Cette solution permet d'atteindre une densité de partage de 2,0, qui ne sera peut-être pas assez élevée non plus. En effet, le perfectionnement des centrales électriques modernes a pour résultat que toutes les particules à teneurs en cendres ne dépassant pas 70 %, ont une valeur positive, de sorte qu'on peut s'attendre à ce que la séparation mixtes-schistes se réalise à un poids spécifique de 2,2. Tout comme dans les lavoirs de minerai, on devra recourir à des suspensions composées d'un mélange de magnétite et de ferrosilicium.

Dans le système de régénération du lavoir à liqueur dense, un rôle de grande importance est joué par les hydrocyclones épaisseurs et classi-

ficateurs et par les grilles courbes, appareils développés par les « Staatsmijnen ».

Je suppose que les hydrocyclones vous sont suffisamment connus. En outre, vous verrez pendant la visite du laboratoire bon nombre de ces appareils, non seulement des hydrocyclones simples, utilisés dans les lavoirs à charbon et dans d'autres industries, mais encore des multicyclones, groupant, en parallèle, un grand nombre d'hydrocyclones de diamètre très petit (jusqu'à 10 mm). Ces multicyclones sont capables de classer à quelques microns. Ils sont appliqués surtout dans les féculeries et les usines de farine de maïs.

La grille courbe est un crible fixe, à barreaux, à alimentation tangentielle. Les barreaux sont disposés perpendiculairement à la direction du transport. La grille courbe se prête très bien au criblage par voie humide. Pour cribler à 0,5 mm, on doit utiliser une grille courbe à fentes de 1 mm. De là les avantages les plus importants de la grille courbe : elle se bouche beaucoup moins facilement et sa capacité est énorme. Pour les séparations dans les lavoirs, où la grille courbe est utilisée entre autres comme séparateur des schlamms bruts et fins avant la flottation, comme tamis d'égouttage et de déschlammage des fines lavées, ou comme tamis de déschlammage préliminaire des fines brutes, une hauteur de charge de 0,5 m suffit. Des dizaines de grilles courbes sont actuellement en fonction dans les lavoirs des Mines d'Etat. M. Fontein, chef de la section physico-mécanique, vous montrera quelques types de grilles courbes et vous donnera des détails sur les applications de ces appareils dans d'autres industries et notamment leur utilisation pour des criblages extrêmement fins (jusqu'à 50 microns).

À côté de l'hydrocyclone épaisseur et classificateur, nous avons développé le cyclone laveur. Dans cet appareil, la séparation des particules ne se fait plus d'après la vitesse de chute, mais d'après le poids spécifique.

Entrer dans les détails du mécanisme de la séparation m'emmènerait trop loin, d'autant plus qu'il n'existe pas encore de théorie satisfaisante du cyclone laveur. Je voudrais simplement vous dire quelques mots sur le schéma du lavoir expérimental équipé avec cyclones (fig. 36). Le charbon brut à laver est envoyé avec une suspension de magnétite dans le cyclone laveur disposé à peu près horizontalement. La différence de hauteur entre l'alimentation et le cyclone est d'environ 5 m.

Le charbon et les schistes quittent le cyclone respectivement à l'overflow et à l'orifice de pointe. Les deux produits sont égouttés sur une grille courbe et ensuite rincés sur un crible. Dans le circuit de régénération, l'eau de rinçage passe, soit par des hydrocyclones, soit par des grilles courbes, et seules les grosses particules sont traitées

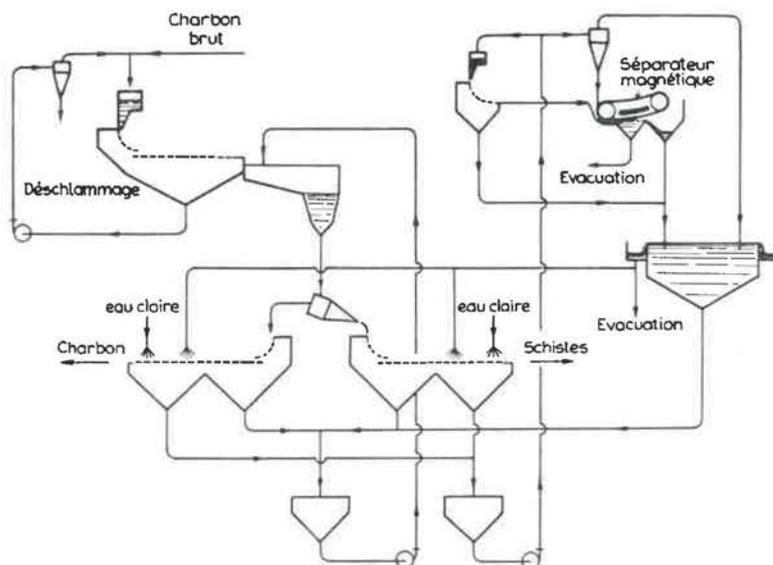


Fig. 36. — Schéma de principe du lavoir expérimental par cyclone à basse pression.

dans des séparateurs magnétiques. Ainsi, on peut réduire considérablement cet appareillage coûteux.

Les particules non-magnétiques sont évacuées, les particules magnétiques sont envoyées avec les fines particules, provenant de l'hydrocyclone ou de la grille courbe, dans un épaisseur. Ce schéma vous aura expliqué l'importance de l'hydrocyclone et de la grille courbe dans les procédés de lavage développés par les Mines d'Etat. Pour les particules les plus fines de la gamme des charbons, l'effet de la masse cède à celui de la surface et la séparation repose sur l'emploi de produits chimiques qui influent sur les tensions superficielles. Ces dernières années, ce sont surtout les polyélectrolytes synthétiques qui ont éveillé l'intérêt. Ces polyélectrolytes sont des colloïdes hydrophiles, dissociés en ions. Les ions négatifs sont polyvalents et les ions positifs sont le plus souvent monovalents.

Sous l'influence de ces produits chimiques, les fines particules forment des flocons qui se déposent facilement. La structure de ces flocons est spongieuse; on en profite dans l'égouttage des schlamms sur les filtres à vide. Ainsi, la teneur en humidité peut être réduite de quelques pourcents.

Il y a plusieurs types de polyélectrolytes dans le commerce. L'effet en est beaucoup plus intensif que celui, par exemple, des féculs de pommes de terre. Quoique le prix par kg soit considérablement plus élevé, les concentrations nécessaires sont tellement faibles que l'emploi de ces polyélectrolytes synthétiques est souvent plus économique. Dans le choix du polyélectrolyte, la qualité de l'eau joue un rôle très important. Il n'y a pas de règle générale, mais il faut chercher pour chaque industrie le produit technique qui convient le mieux. Ceci est facile à réaliser à l'échelle du laboratoire.

Le Dr. Meerman, chef de la section physico-chimique, vous en fera la démonstration.

En choisissant le flocculant qui convient le mieux, il faut aussi se rendre compte de l'action de ce flocculant sur la flottation, si du moins l'eau clarifiée est réutilisée, en entier ou en partie, dans le lavoir. Certains de ces flocculants ont un effet nuisible au bon fonctionnement de l'installation de flottation.

Il se peut aussi que les produits chimiques influencent les qualités rhéologiques des suspensions du lavoir à liqueur dense, surtout lorsqu'on utilise des suspensions de schistes.

Le Dr. Meerman vous expliquera la façon de déterminer les qualités rhéologiques des suspensions, en particulier de mesurer leur seuil d'écoulement et leur viscosité apparente. Le seuil d'écoulement surtout est un facteur très important; en effet, les particules à poids spécifique voisin de celui de la suspension ne subissent que de très faibles sollicitations et ces forces peuvent être inférieures au seuil d'écoulement. En pareil cas, la séparation de ces particules n'a plus lieu et la précision de séparation devient insuffisante.

Comme dernier sujet, je voudrais signaler l'introduction et l'application rigoureuse de l'instrumentation, l'automatisation des lavoirs et le contrôle rapide du produit fini.

Ce sujet est important pour trois raisons :

1. économie de personnel
2. meilleur contrôle de la qualité du produit fini et perte minimum de produits de valeur dans les schistes de lavage
3. réduction du nombre d'interruptions.

Depuis quelques années, nos lavoirs sont équipés entre autres de niveaumètres, de régulateurs automatiques du poids spécifique de la liqueur dense et d'appareils de réglage automatique des bacs à

piston. Tout d'abord, on faisait surtout attention à l'amélioration du produit et à la réduction des pertes de lavage. Actuellement, le problème de l'économie du personnel prédomine. A cette fin, on réalise des tableaux de mesure et de réglage centraux grâce auxquels une seule personne peut contrôler plusieurs réglages. Cette instrumentation se fait en collaboration intime avec la section physique du Centre de Recherches des Mines. Le Dr. van de Velden, Chef de cette Section, vous donnera quelques détails sur l'application des ressources physiques modernes dans ce domaine. En même temps, il vous montrera le calculateur analogique dont l'intérêt est grand pour notre laboratoire.

La section physique du Laboratoire Central a développé une méthode de détermination de cendres à grande vitesse, par réflexion de rayons X.

Cette méthode d'analyse nous permet de déterminer en quelques minutes la teneur en cendres du charbon lavé. Nous pensons surtout à l'application de cet appareil pour la réalisation d'un mélange de charbons à coke à teneur en cendres con-

stante. En principe, il sera également possible de régler, automatiquement ou non, la densité de séparation des bacs de lavage au moyen des teneurs en cendres ainsi obtenues. Le Dr. Meerman vous montrera un tel appareil. La précision de l'analyse est très bonne (avec un écart de quelques dixièmes de pourcent).

Nous préparons pour le moment l'introduction de plusieurs appareils de ce genre dans les lavoirs.

Pendant la visite, nous espérons aussi vous donner un aperçu de nos services techniques auxiliaires. Le laboratoire dispose entre autres d'un atelier bien outillé, d'une salle de dessin et d'un service qui se charge des reproductions et des photographies.

J'espère que cette excursion vous montrera l'importance du Centre de Recherches des Mines dans l'ensemble des usines et houillères des « Staatsmijnen » et vous donnera une idée des efforts combinés de l'industrie et de la recherche pour tenir tête aux difficultés techniques croissantes.

## VISITE DU CENTRE DE RECHERCHES

Au cours de la visite, les délégués de la commission ont pu assister à une série de démonstrations, ainsi qu'à la présentation de nombreux appareils mis au point au Centre de recherches.

Dans la section physico-mécanique, ils ont pu se rendre compte de la diversité des réalisations en matières d'hydrocyclones, de multicyclones et de cribles à grille courbe. Une démonstration de criblage de sable a mis en évidence l'énorme capacité de traitement des grilles courbes, en même temps que la précision de séparation qu'elles permettent d'obtenir.

A la section physico-chimique, l'action des produits flocculants a fait l'objet de différentes démonstrations mettant en lumière leur effet sur la vitesse de sédimentation des suspensions ou sur la porosité des gâteaux obtenus au filtre à vide; la plupart de ces produits dérivent de l'acide polyacrilique, mais ces dérivés sont en nombre considérable et chacun d'eux possède des propriétés spécifiques qui doivent faire l'objet d'une étude en fonction du problème posé et en fonction de la nature des eaux disponibles.

Les propriétés moussantes des eaux résiduaires de cokeries ont également été démontrées dans une petite cellule de flottation et différents appareils de mesure ont été présentés en fonctionnement: viscosimètre de Stormer et burette de dé-

cantation pour l'étude granulométrique des particules fines. Enfin, les visiteurs ont pu examiner le prototype d'appareil conçu au laboratoire central des Mines d'Etat en vue du dosage rapide des cendres par réflexion des rayons X.

A la section physique du département mines, le calculateur par analogie électrique a été montré et quelques renseignements ont été fournis au sujet des problèmes qu'il permet d'étudier (tensions dans les câbles dues aux oscillations des cages de mine, transfert de chaleur en régime variable, etc.).

On a également exposé le mode de fonctionnement de divers appareils de conception originale, et notamment d'un appareil monté sur les trépan utilisés pour le fonçage des puits du siège Beatrix et qui permet de contrôler la verticalité du creusement.

Un autre appareil enregistreur permet, en tout temps, de mesurer les tensions en différents points du cuvelage du puits Hendrik, grâce à un système de détecteurs à cordes vibrantes installés tout au long du puits et reliés au laboratoire par une ligne téléphonique munie d'un sélecteur.

La visite s'est terminée par une inspection rapide des services généraux: ateliers — hall d'essais de machines et de matériaux — service photographique et bibliothèque.

## VI. — LA STATION EXPERIMENTALE D'ETUDE DES FLAMMES

### L'ORGANISATION ET L'ACTIVITE DE LA FONDATION DE RECHERCHES INTERNATIONALES SUR LES FLAMMES

par E. H. HUBBARD

#### 1. — Organisation

La Fondation de Recherches Internationales sur les Flammes a commencé ses activités en 1948 pour unir les efforts des universitaires, des industriels et des Instituts de recherche anglais et français pour continuer et prendre part au travail déjà commencé aux Pays-Bas.

Depuis lors, la Fondation s'est agrandie et la Belgique, la Suède et les Etats-Unis en sont devenus membres. En 1956, la Fondation a été enregistrée officiellement comme Fondation de Recherches.

Dans chacun des pays-membres, on a formé un Comité National unissant les industriels et les instituts intéressés aux activités de la Fondation. D'autres pays aussi lui ont montré de l'intérêt, comme par exemple l'Italie et la Suisse, mais jusqu'à présent de nouveaux comités nationaux n'ont pas encore été formés.

La Fondation est dirigée par un Comité International dans lequel chaque pays est représenté par deux membres. Le Président est M. le Professeur G. Ribaud.

Les activités de la Fondation sont contrôlées par un certain nombre de comités techniques spécialisés qui peuvent compter sur la coopération de spécialistes dans les différents domaines. A la tête du travail scientifique est M. le Professeur M. W. Thring.

Pendant la période 1953-1956, le niveau annuel des contributions financières a été de 240.000 Fl. environ et nous espérons pouvoir augmenter ce montant jusqu'à 300.000 Fl. en 1957. Les investissements pendant cette période se montent à 674.000 Fl.; pour couvrir ces dépenses, nous avons reçu de la Haute Autorité de la C.E.C.A. un don de 399.000 Fl., ce qui a permis de continuer les activités sans aucune interruption et de financer la construction d'une nouvelle installation au charbon pulvérisé.

Chaque pays s'occupe de sa propre administration, mais, généralement parlant, la tâche principale est de former un forum dans lequel les résultats et les applications des travaux antérieurs peuvent être discutés et où de nouveaux programmes de recherche sont élaborés. Il s'entend que

chaque pays est responsable de la collecte de ses contributions annuelles.

A côté des réunions des Comités Nationaux, il est de coutume que chaque pays organise un symposium tous les deux ou trois ans au cours duquel les travaux de la Fondation et les adaptations industrielles sont présentés à un public plus vaste. La prochaine réunion de ce genre aura lieu à Londres en octobre 1957.

Dans chaque pays, les membres se trouvent parmi les producteurs de combustibles bruts, et parmi les consommateurs, tels que les industries de l'acier et du ciment, les glacières et les fabricants de chaudières.

Les essais entrepris peuvent grosso modo être divisés en deux types :

1. Les essais industriels pendant lesquels un nombre restreint de mesures simples est fait sur un grand nombre de flammes afin d'étudier l'interrelation entre les caractéristiques de la flamme et les variables à l'entrée;
2. Les essais scientifiques pendant lesquels beaucoup de mesures variées sont faites sur quelques flammes afin d'éclaircir les mécanismes de mélange, de combustion et de transmission de chaleur.

Il s'entend que les deux types d'essais sont complémentaires et l'objectif général est de rendre les essais industriels de plus en plus scientifiques, en vue de nouvelles découvertes qui doivent donc être étudiées de près.

Pendant ces essais principaux, le personnel permanent est aidé considérablement par des expérimentateurs venant des comités-membres. De cette façon, chaque comité reste en contact avec les travaux et a les bénéfices d'une plus grande expérience de son équipe.

Il est important de faire remarquer que les résultats des travaux sont applicables aux flammes industrielles, en général, sans relation stricte avec une certaine industrie ou un certain type de four. Plusieurs organisations-membres disposent d'une équipe s'occupant de la « traduction » des résultats obtenus dans leur domaine spécial. Ceci est essentiel pour obtenir un rendement optimum des travaux.

Pendant les six premières années, le travail a été consacré, en général, à l'étude des flammes de

mazout et de gaz. Cependant, en novembre 1955, un four à charbon pulvérisé a été inauguré officiellement et depuis lors les travaux ont été divisés également entre les combustibles liquides et gazeux, d'une part, et les combustibles solides, d'autre part.

**2. — Aperçu des expériences sur les flammes de mazout et de gaz.**

Le type de flammes que l'on a généralement étudié peut être décrit comme une flamme de diffusion turbulente; on entend par là, une flamme projetée le long de l'axe de la chambre de combustion, sans contact direct avec les parois. L'air de combustion entre par les parois latérales, au voisinage du brûleur, à une très faible vitesse, et le mélange combustible/air est exclusivement gouverné par la quantité de mouvement du jet ou par la poussée de réaction au brûleur.

En général, un mélange plus rapide de l'air de combustion et du combustible produit une combustion plus rapide d'où une température initiale plus élevée. En outre, les suies brûlent plus rapidement, ce qui donne lieu à une décroissance plus rapide de l'émissivité.

Le rayonnement de la flamme dépend à la fois de l'émissivité et de la température et il est malheureux que chaque changement dans les conditions de mélange influence généralement ces deux facteurs en sens inverse.

*Aérodynamique.*

Un des premiers résultats des essais a été la découverte du fait que les caractéristiques de la flamme dépendent dans une assez grande mesure de la poussée de réaction et ne sont pas grandement influencées par des changements dans les formes du brûleur. Pour un brûleur donné, c'est la quantité de fluide de pulvérisation qui détermine la poussée de réaction et une conséquence directe de cette découverte fut la construction d'un brûleur sur le principe du venturi, qui consomme moins de fluide de pulvérisation pour produire une poussée identique.

En augmentant la poussée de réaction ou la quantité de mouvement du jet, on augmente la rapidité de mélange entre le combustible et l'air, ce qui est accompagné par les phénomènes mentionnés plus haut. Pour un jet libre pénétrant dans un milieu calme, la quantité d'air entraîné est en proportion directe de la distance au brûleur et le point sur l'axe où le mélange stoechiométrique est atteint est déterminé par l'équation :

$$L = k' \frac{M_F (1 + k) + M_s}{\sqrt{\rho G}} \quad (a)$$

où :

- L = distance sur l'axe du jet jusqu'au mélange stoechiométrique
- k' = est une constante (6,5)
- M<sub>F</sub> = débit en masse du fuel
- k = quantité d'air stoechiométrique kg/kg
- M<sub>s</sub> = débit en masse du fluide de pulvérisation
- ρ = densité moyenne de la flamme
- G = force de réaction au brûleur.

Si ce jet est enfermé dans un four, la quantité d'air est limitée et il se produit une recirculation. La quantité de produits recirculés dépend de la géométrie du système, de la quantité de mouvement du jet et du débit-volume total. Bien que le jet continue à entraîner la même quantité de produits, ceux-ci ne sont donc plus de l'air pur, mais un mélange d'air et de produits de combustion. Ce qui veut dire, en pratique, que la flamme sera toujours plus longue que ce qui est donné par l'équation (a), quoique la vitesse initiale de mélange la suive de près (fig. 37).

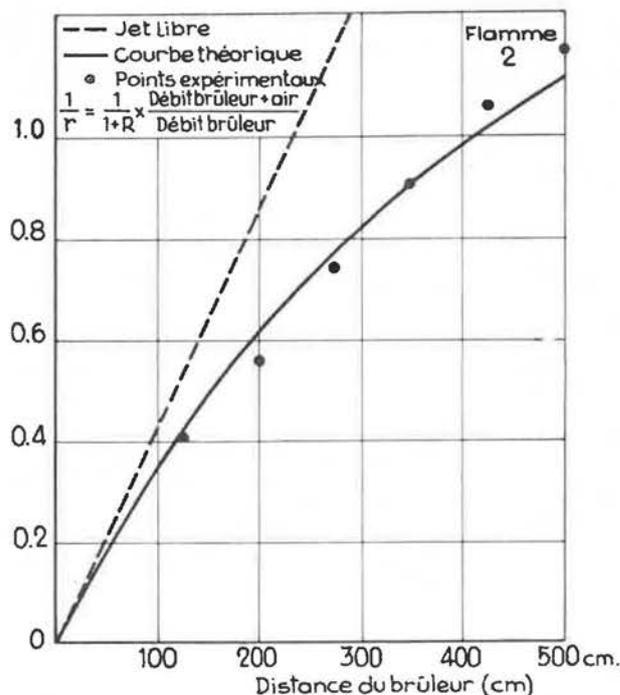


Fig. 37. — Comparaison du rapport de mélange air/combustible sur l'axe de la flamme, dans un four et dans un jet libre.

Une équation essayant de tenir compte de la recirculation est donnée par M. Rivière et des expériences sont en cours pour en vérifier l'exactitude.

La vitesse initiale de mélange peut aussi être augmentée en introduisant de l'air par un orifice annulaire concentrique au brûleur ou par mélange préalable. D'autre part, l'augmentation de la quantité d'air dans le four à grande distance du brûleur ne change pas la vitesse initiale de mé-

lange, mais, en réduisant la recirculation, cette introduction d'air aide à maintenir la vitesse de mélange à sa valeur initiale. Dans les flammes industrielles ayant les températures que nous considérons ici, les réactions chimiques sont bien plus rapides que les processus de mélange physique, d'où vient que le résultat de chaque phénomène aérodynamique peut être traduit en termes de combustion et d'émission de chaleur selon l'idée donnée plus haut.

#### Les processus de combustion et de rayonnement.

L'aspect le plus important de la combustion dans les flammes est la formation de suies par le cracking thermique des hydrocarbures. La présence de suies dans la flamme ajoute de façon importante à son émissivité et augmente donc son rayonnement. L'émissivité non-lumineuse des produits de combustion peut être étudiée dans les données publiées et, dans les cas étudiés à la Station Expérimentale, elle est de l'ordre de 0,35. L'émissivité lumineuse due à des particules de suie atteint son maximum à un point situé environ à mi-longueur de la flamme où la valeur est entre 0,8 et 0,9 et décroît ensuite quand les suies ont brûlé. La figure 38 montre comment l'émissivité non-lumineuse

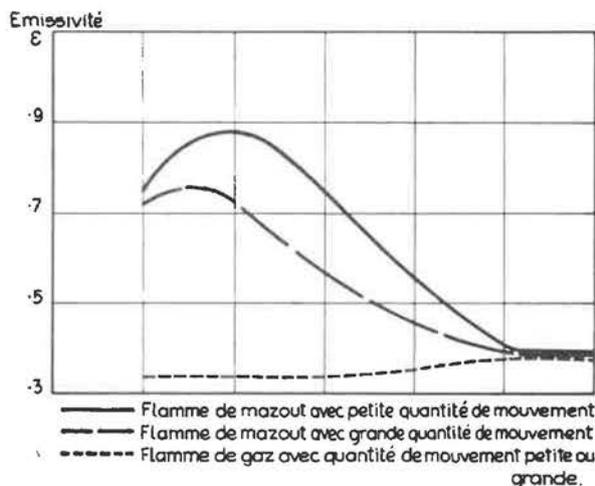


Fig. 38. — Comparaison de l'émissivité de flammes de gaz et de mazout.

d'une flamme de mazout décroît de façon plus rapide en accélérant le mélange. La figure 39 montre la quantité de particules solides trouvées sur l'axe de la flamme en rapport avec les conditions de mélange données à la figure.

Dans le cas des fuel-oils, la formation de suies se fait assez rapidement et il est probable que le cracking est terminé avant le point où il est possible de prendre la première mesure. Par contre, les huiles distillées demandent plus de temps pour la formation des suies et nous avons des raisons de croire que le taux de dégagement de chaleur de ces huiles est plus bas,

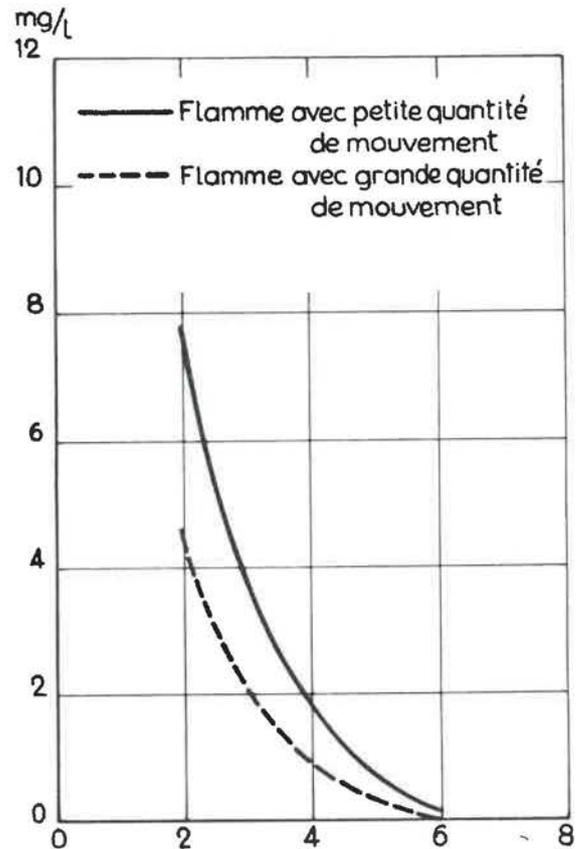


Fig. 39. — Concentration des particules solides dans l'axe de la flamme de mazout.

On a établi que le paramètre le plus important dans la comparaison des flammes de combustibles liquides est le rapport en poids C/H du fuel (fig. 40).

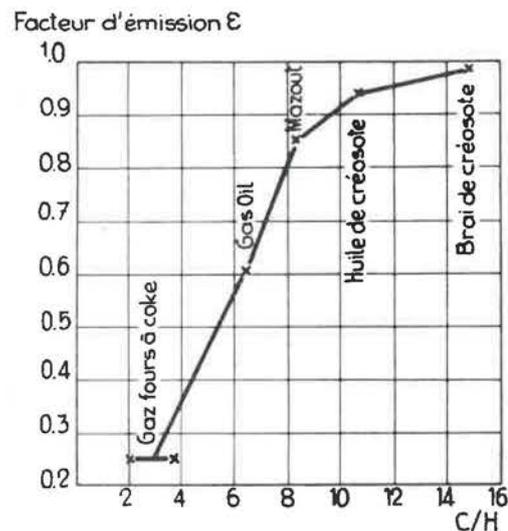


Fig. 40. — Relation entre l'émissivité mesurée à 2 m du brûleur et le rapport pondéral C/H du combustible.

Un rapport en poids C/H plus élevé, comme c'est le cas par exemple pour le « pitch créosote » (huile de créosote) comparé au mazout, ou pour le mazout lourd comparé à une huile légère, pro-

duit un plus grand nombre de particules de suie dans la flamme, laquelle, en conséquence, a une plus grande émissivité et rayonne mieux.

L'addition de carbone solide en suspension dans l'huile donne le même résultat. Des flammes mixtes de gaz de four à coke et de combustibles liquides montrent une émissivité et un rayonnement d'autant accrus que l'on a ajouté plus de combustible liquide et cet accroissement est d'autant plus grand que le rapport en poids C/H augmente.

La relation entre l'émissivité et le rapport en poids C/H a une allure exponentielle. L'application industrielle de ces résultats est que, grâce à l'emploi de brûleurs mixtes gaz/huile, 20 % de la chaleur introduite dans une flamme de mazout ou 30 % de la chaleur introduite dans une flamme de pitch-créosote peuvent être fournis par du gaz de four à coke sans diminuer le rayonnement.

Un des premiers pas vers la connaissance des flammes est l'établissement d'une relation quantitative entre la concentration en particules solides dans la flamme et les variables à l'entrée. Comme mentionné plus haut, cette concentration commence par le cracking thermique des hydrocarbures et on a établi que la présence de  $N_2$ ,  $CO_2$  et  $H_2O$ , donc des produits de combustion, agit comme retardateur (fig. 41). La quantité de suies formée dépend aussi du combustible même et ceci est étudié à chaud au moyen d'un modèle réduit à l'Uni-

Ce qui est important aussi est de connaître le comportement des suies après leur formation. Pour un débit de combustible donné et dans des conditions de mélange constantes, la température de la flamme est élevée de  $150^\circ C$  à  $550^\circ C$  par préchauffage de l'air de combustion. On a établi alors que la quantité de suie présente dans la flamme ne dépend pas de la température, dans la gamme de températures rencontrées dans les fours industriels. Il est probable que la vitesse de combustion dépend exclusivement de la quantité d'oxygène disponible pour la combustion, mais ce problème fait encore l'objet de recherches.

### 3. — Les flammes de combustibles pulvérisés.

Les principes gouvernant la combustion du gaz et du mazout sont également applicables dans les cas des combustibles pulvérisés.

Le premier problème qui se présente, fut le choix d'un système de brûleur pouvant imiter les deux types de flammes nettement différents qui sont employés dans l'industrie. D'une part, nous avons la flamme longue dont l'aérodynamique ressemble à celle des flammes de mazout et de gaz étudiées jusqu'à présent. Le meilleur exemple pratique de ce genre de flammes se rencontre dans les fours à ciment. D'autre part, il y a l'industrie des chaudières où l'on emploie des flammes très turbulentes, à mélange rapide, afin de brûler la plus grande quantité possible de combustible dans l'espace le plus restreint.

Il fallait donc trouver un type de brûleur répondant à ces deux exigences et suffisamment simple pour que l'aérodynamique en puisse être étudiée mathématiquement. La forme choisie est donnée à la figure 42; elle consiste essentiellement en deux tubes concentriques dont les diamètres peuvent être changés indépendamment. Ce système est assez flexible pour permettre que, si nécessaire, tout l'air soit soufflé comme air primaire, tandis que la vitesse de l'air secondaire peut varier de  $< 1$  m/s jusqu'à 200 m/s environ.

#### Aérodynamique.

Une partie importante de notre programme de recherches est dirigée vers la découverte des paramètres gouvernant le processus de mélange dans ce système simple de deux jets concentriques. Ceci est étudié en employant un modèle froid ayant  $1/5^{me}$  des dimensions du four expérimental. Si la vitesse du jet primaire est plus grande que celle du jet secondaire, le mélange est bien identique à celui que l'on a pu prédire selon les formules connues pour un système à jet unique. Ceci est même valable quand la quantité de mouvement du fluide environnant est plus grande que celle du jet primaire, ce qui se produit dans les fours à ci-

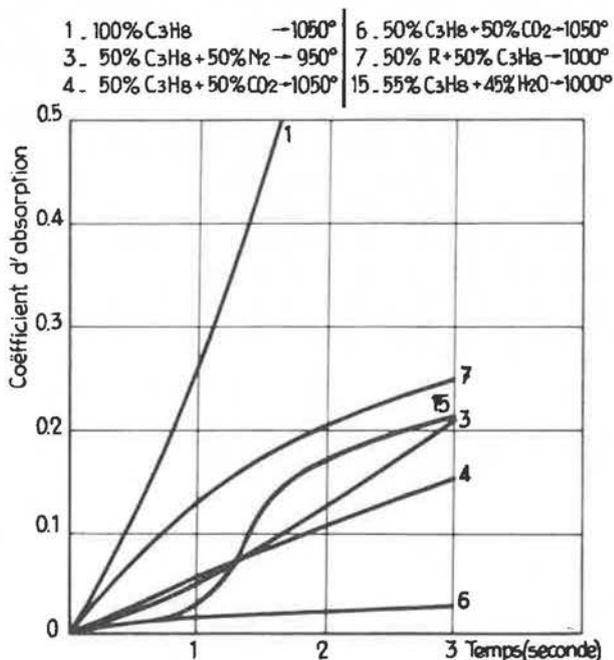


Fig. 41. — Influence des produits de combustion sur la formation de suie.

versité de Sheffield, sous la direction de M. le Professeur Thring. On y étudie le comportement d'un certain nombre de combustibles dans les mêmes conditions de mélange.

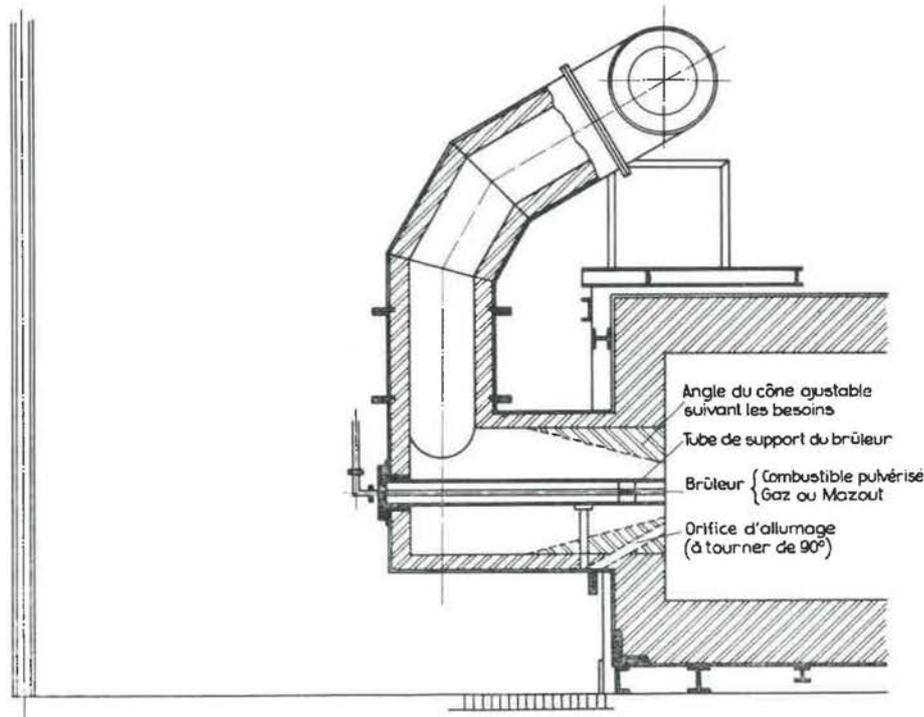


Fig. 42. — Brûleur pour combustibles pulvérisés.

ment où l'air environnant occupe une grande partie de la section transversale et a une vitesse négligeable.

Dans le cas où l'air secondaire est introduit à grande vitesse par une section annulaire étroite, le mélange se fait plus rapidement que dans le cas d'un jet unique et la chute de vitesse le long de l'axe est plus petite. Dans plusieurs cas, la vitesse axiale dépasse celle de l'air primaire dans les 5 à 10 premiers diamètres (fig. 43) et ceci se passe aussi quand les vitesses primaire et secondaire sont les mêmes à la sortie du brûleur.

Nous sommes en train de continuer ces travaux et il est probable que nous pourrons établir une équation reliant le comportement de deux jets concentriques à celui d'un jet unique en em-

ployant un paramètre basé sur les dimensions relatives du brûleur.

Des expériences avec une poudre inerte ont démontré que, même dans un brûleur de construction aussi simple que celle donnée dans le dessin de la figure 42, la distribution des particules et de l'air n'est pas homogène, dans l'orifice primaire du brûleur. En effet, les particules ont une plus haute concentration à l'extérieur du jet, près des parois. Cette distribution de concentrations est symétrique et indépendante du rapport en poids combustible/air. Cependant, il est probable que cette distribution diffère avec le degré de finesse des particules et nous ignorons, en ce moment, l'influence éventuelle de cette distribution sur les caractéristiques de rayonnement de la flamme.

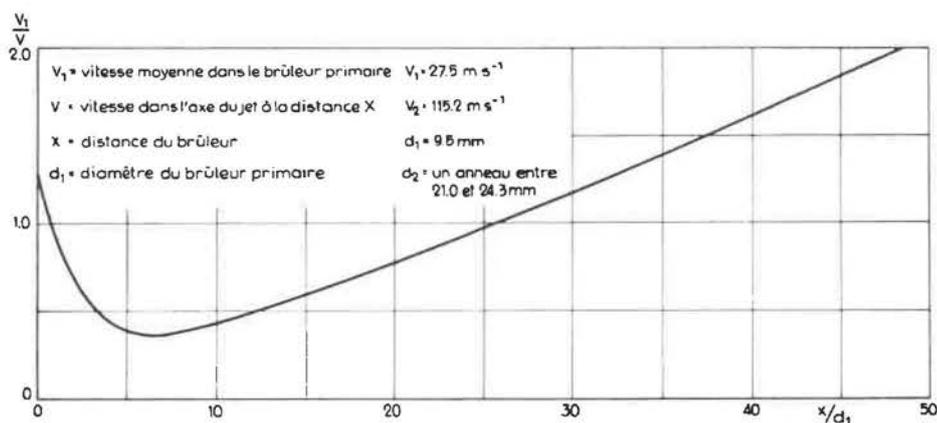


Fig. 43 — Variation axiale des vitesses dans un système de brûleur à deux jets concentriques.

*Processus de combustion et de rayonnement.*

Jusqu'à présent, il n'y a eu qu'un seul essai principal au charbon pulvérisé. Le charbon employé provenait de Faulquemont (Lorraine) et avait pour caractéristiques 40 % M.V. (sur pur), 10 % cendres, indice de gonflement 1/2.

Le comportement de ce charbon est caractéristique de la plupart des charbons bitumineux à haute teneur en matières volatiles, disponibles en Europe occidentale, et déjà nous pouvons percevoir, bien qu'incomplètement, quelle sera la voie à suivre vers des recherches profitables, avec d'autres types de charbons.

Il est bien connu que le processus de combustion de charbon peut être divisé en deux parties :

1. la formation et la combustion des matières volatiles;
2. la combustion du résidu cokéfié.

Quand les matières volatiles se seront dégagées, et s'il n'y a pas assez d'air pour les brûler, il y aura cracking et formation de suies. Cette formation de suies peut être empêchée en introduisant assez d'air pour brûler les matières volatiles après leur dégagement. Elle peut aussi être retardée de la façon déjà mentionnée dans le cas des flammes de mazout et de gaz, par différents gaz qui se trouvent pour la plupart présents dans les produits de combustion.

Pendant le dégagement des matières volatiles, il est probable que le résidu subit une baisse de température due à l'évaporation et qu'aussi il est entouré d'un nuage de matières volatiles. Ces matières volatiles doivent brûler et de nouvelles quantités d'oxygène doivent s'introduire parmi les produits de combustion avant que le résidu cokéfié puisse commencer à brûler. Ce processus a été observé dans plusieurs cas où la température du gaz sur l'axe de la flamme passe par un maximum, quand les matières volatiles brûlent, s'abaisse ensuite et augmente de nouveau quand le résidu s'enflamme.

Il va de soi que la formation des matières volatiles est surtout un effet d'échange de chaleur à partir des parois chaudes du four et qu'elle n'est pas influencée par la quantité d'air disponible pour leur combustion.

*Effets de la quantité d'air.*

Lorsque la quantité d'air primaire est élevée, la combustion du résidu cokéfié commence plus tôt et, en ce cas, il est impossible de distinguer entre les deux stades au moyen de la mesure de la température ou du rayonnement.

Une diminution de la quantité d'air primaire a comme résultat une combustion plus lente des matières volatiles, ce qui est démontré par les con-

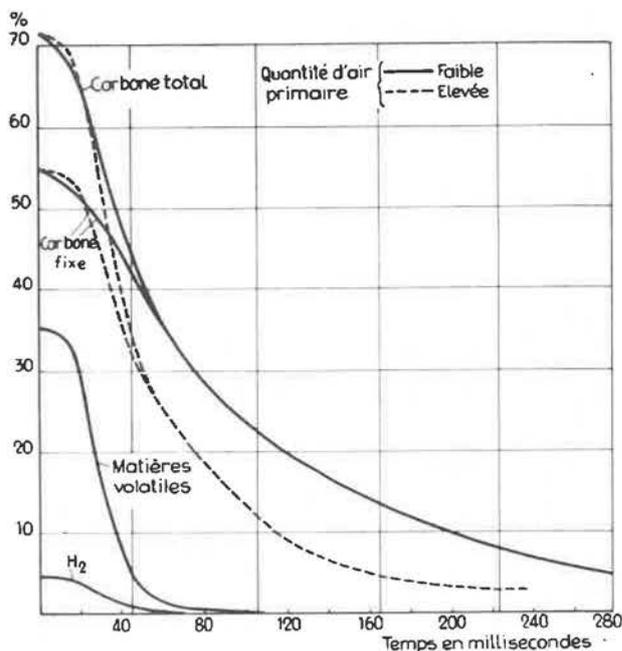


Fig. 44. — Evolution de la teneur en matières volatiles de flammes de combustibles pulvérisés.

centrations plus fortes en imbrûlés gazeux, que l'on trouve au début de la flamme (fig. 44).

La figure 44 montre aussi la combustion plus lente du résidu avec une quantité d'air primaire plus réduite. Si la quantité d'air primaire est réduite progressivement en dessous du niveau nécessaire à la combustion des matières volatiles, on arrivera à un stade où celles-ci ne s'enflammeront pas tout de suite, mais seront décomposées en formant des particules de suie.

Il est entendu qu'il y a une concentration maximale de particules de suie qui dépend de la qualité du charbon et de la vitesse d'entrée, et si l'on réduisait encore la quantité d'air primaire, le nombre de particules n'augmenterait pas, mais elles mettraient plus de temps à se brûler.

Dans nos expériences, les vitesses de l'air secondaire ont varié de 1 m/s jusqu'à 70 m/s, cette dernière valeur étant parfois le triple de la vitesse de l'air primaire. Il fut étonnant de voir que, bien que cette accélération causât un mélange plus rapide entre les deux jets, il n'y avait aucun effet sur les caractéristiques de combustion et de rayonnement, tant qu'il y avait plus d'air primaire qu'une certaine quantité minimum. S'il y a une quantité inférieure à ce minimum et que des particules de suie se forment, alors c'est l'effet cumulatif du mélange de charbon et d'air total en chaque point qui est important.

Comme pour les flammes de mazout, l'émissivité d'une flamme de charbon pulvérisé dépend à la fois des produits de combustion non-lumineux et des particules solides lumineuses. Pourtant il y a deux différences : dans le cas du charbon pulvérisé, les particules solides viennent du charbon

qui gonfle en chauffant et, après le dégagement des matières volatiles, il reste un résidu poreux et cokéfié. Après combustion complète, les particules de cendres chaudes continuent à rayonner et l'émissivité, vers la sortie du four, dépasse le chiffre de 0,70. Pour les flammes de mazout et de gaz, ce chiffre tombe aux environs de 0,35 (fig. 45).

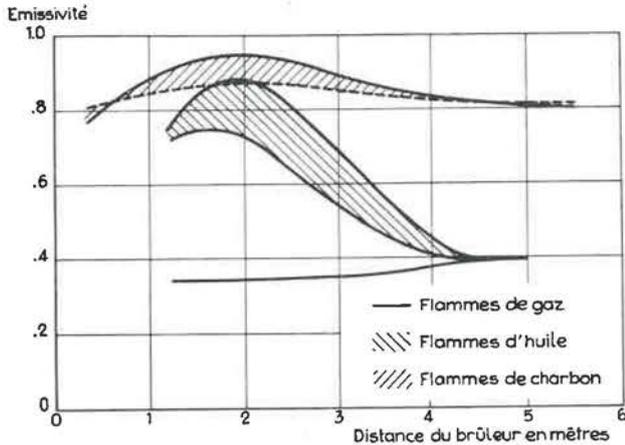


Fig. 45. — Comparaison de l'émissivité de flammes de gaz, d'huile et de charbon pulvérisé.

Un apport de chaleur au début de la flamme est nécessaire pour augmenter la température de cette matière inerte, et l'effet global est que le rayon-

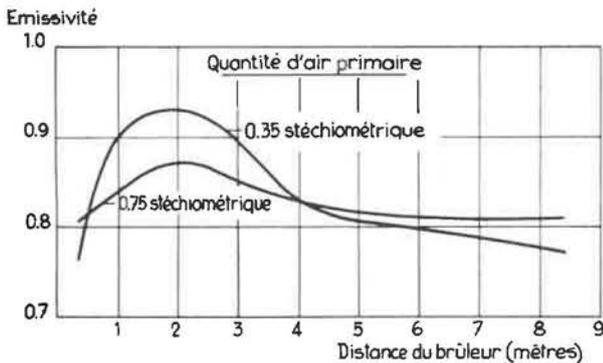


Fig. 46. — Effet de la quantité d'air primaire sur l'émissivité de la flamme.

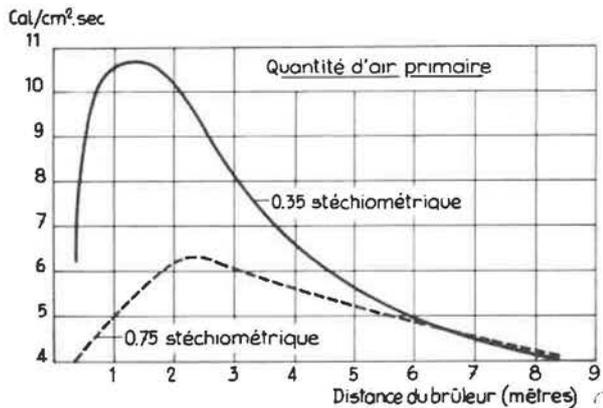


Fig. 47. — Effet de la quantité d'air primaire sur la radiation de la flamme.

nement d'une flamme de charbon est plus uniforme sur toute sa longueur. Du fait que l'émissivité d'une flamme de charbon est élevée et assez constante, un dispositif de mesure sera seulement influencé au bord de la flamme. Les figures 46 et 47 montrent l'effet de la réduction de l'air primaire sur l'émissivité et le rayonnement de la flamme, au point maximum de chaque section transversale.

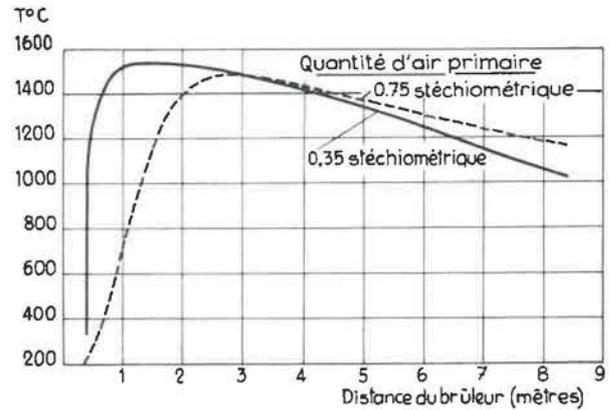


Fig. 48. — Effet de la quantité d'air primaire sur la température dans l'axe de la flamme.

La figure 48 montre la température des gaz dans l'axe de la flamme (le déplacement des sommets des diagrammes est dû au fait que, dans deux cas, l'on a employé le même diamètre de brûleur et que la vitesse est donc proportionnelle au débit). On peut voir qu'à 3 m du brûleur, alors que les températures sont les mêmes, l'émissivité augmente de 5 % quand on diminue la quantité d'air. Le rayonnement est cependant 40 % plus élevé. Ceci indique qu'il doit y avoir une forte augmen-

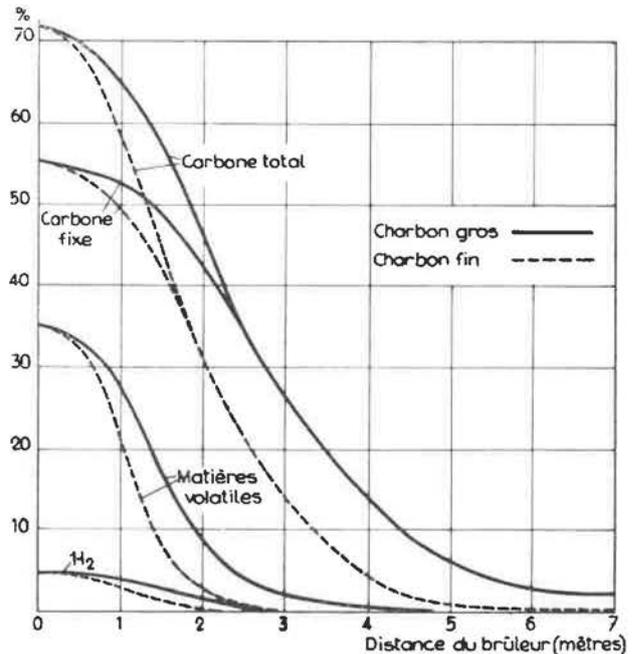


Fig. 49. — Effet de la finesse du produit sur l'évolution des matières volatiles.

tation de température au bord de la flamme et/ou qu'il y a formation de suies entraînant une augmentation d'émissivité dans les régions les plus chaudes.

*Effets de la finesse des particules de charbon.*

Plus les particules de charbon sont petites, plus les matières volatiles se forment rapidement (fig. 49) et, s'il y a assez d'oxygène, la combustion et l'augmentation de température se produiront plus

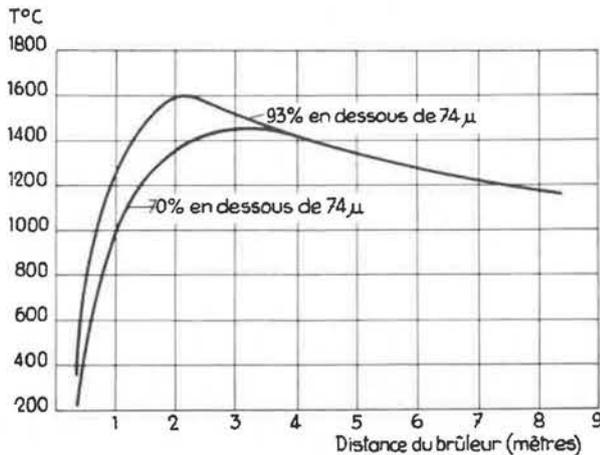


Fig. 50. — Effet de la finesse du charbon sur la température des gaz dans l'axe de la flamme.

vite. La figure 50 montre qu'un accroissement de finesse entraîne une augmentation de 140° de la température maximum des gaz et un déplacement de ce maximum vers le brûleur. La figure 51 mon-

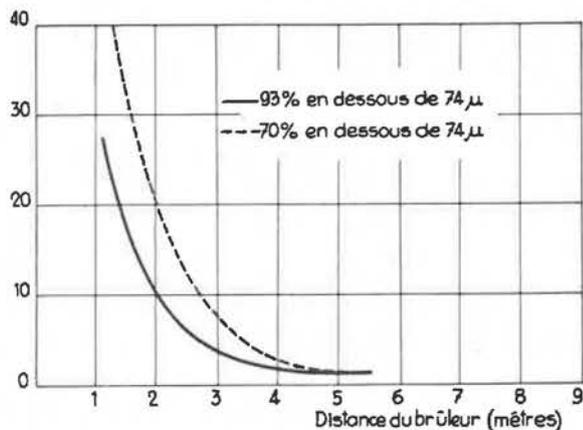


Fig. 51. — Effet de la finesse du charbon sur la concentration des particules solides.

tre que la concentration de particules en masse par unité de volume est bien moindre avec le charbon fin. L'émissivité est un peu plus élevée cependant, ce qui est dû à une surface spécifique plus grande. Le rayonnement de la flamme augmente de 25 % au point maximum qui se situe deux fois plus près du brûleur (fig. 52).

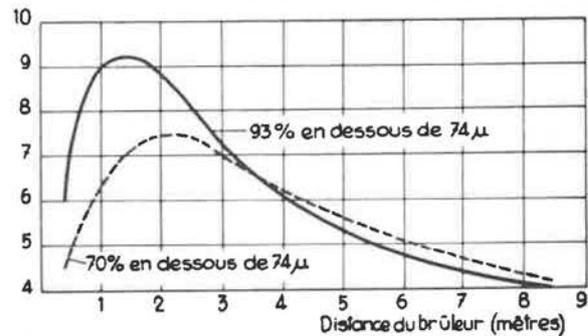


Fig. 52. — Effet de la finesse du charbon sur le rayonnement de la flamme.

**4. — Echange de chaleur.**

Le but final, lorsqu'on brûle un combustible, est d'échanger sa chaleur et souvent le mécanisme de cet échange n'a pas d'importance. C'est à ce stade des opérations que les recherches cessent d'être générales et se spécialisent sur des installations particulières. Les résultats obtenus sur de simples fours-tunnels comme les fours d'IJmuiden ne peuvent être appliqués directement, mais ils donnent des renseignements utiles à l'élaboration de bases de calcul pour des cas particuliers.

Nous pouvons en donner un bon exemple, qui illustre la nécessité d'interpréter les résultats avec prudence avant qu'ils soient appliqués à des cas divers. Le rayonnement émis par des flammes de même débit calorifique et mesuré par un instrument froid dépend plutôt de l'émissivité de la flamme que de sa température. La figure 53 mon-

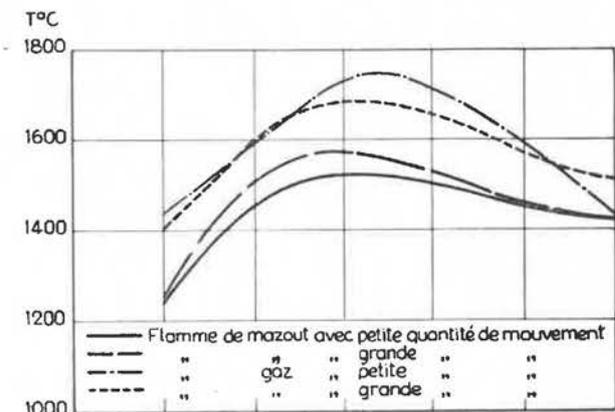


Fig. 53. — Température dans l'axe de flamme de gaz et de mazout.

tre les températures mesurées dans l'axe de la flamme pour des conditions identiques à celles de la figure 38; on voit que les températures des flammes de gaz de four à coke sont de 200° C plus élevées que celles des flammes de mazout, bien que — comme mentionné précédemment — le rayonnement des flammes de mazout à plus haute émissivité soit bien plus important. D'autre part, ce qui est bien plus important, dans diverses

applications industrielles, c'est l'échange de chaleur avec un corps dont la température n'est que très peu inférieure à celle de la flamme, ce qui se produit, par exemple, dans le four Martin pendant le raffinage.

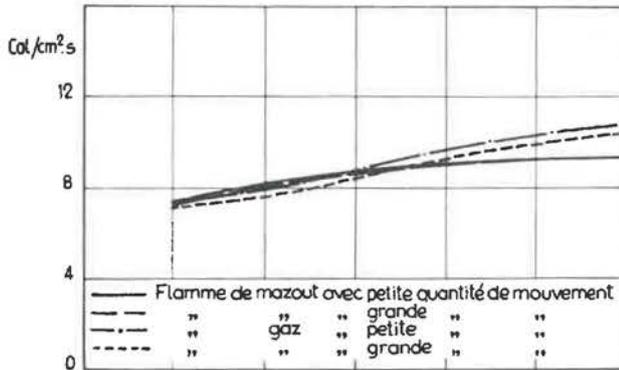


Fig. 54. — Température de paroi du four pour des flammes de gaz et de mazout (exprimée comme radiation du corps noir).

La figure 54 montre les températures des parois exprimées en rayonnement du corps noir et, dans les deux cas, il ressort des données qu'elles sont du même ordre, bien qu'il y ait une petite différence de distribution. Ce qui veut dire que l'échange de chaleur net avec les parois du tunnel est pratiquement le même.

Il y a deux raisons à ce phénomène :

- la première est que le rayonnement net est généralement influencé par la différence de températures et non par l'émissivité, si cette différence de températures est petite;
- la seconde se rapporte à l'importance croissante de l'échange de chaleur par convection, dans le cas de petites différences de températures. La question de l'importance relative de l'échange de chaleur par rayonnement ou par convection a été étudiée au moyen d'une sonde refroidie à l'eau et posée dans la flamme.

Les résultats de ces expériences montraient deux faits importants : en premier lieu, que l'échange de chaleur par convection à partir d'une flamme peut être calculé à l'aide des mêmes formules que l'on emploie dans les cas de jets de gaz inertes chauds, et, en second lieu, que les quantités de chaleur échangées par rayonnement et par convection étaient du même ordre. Ensuite on a montré que, si la température réelle des gaz est plus élevée que la « température de rayonnement moyenne du four » (\*), il peut se produire une situation dans laquelle le corps reçoit de la chaleur par convection et la perd par rayonnement.

(\*) Cette température peut être définie comme  $T_m$  ou  $T_m^4 = R/\sigma \epsilon$ , dans lequel  $R$  = rayonnement total sur un corps d'un espace fermé contenant des gaz rayonnants avec une émissivité  $\epsilon$ ;  $\sigma$  est la constante de Stefan Boltzmann.

Généralement parlant, nous pouvons dire ce qui suit. Dans le cas où il n'y a pas d'impact de la flamme, l'échange généralement se fait par rayonnement. Si la surface est froide, par exemple dans une chaudière, chaque changement dans les caractéristiques de la flamme qui augmente l'émissivité, à chaleur introduite constante, aura pour effet une augmentation de l'échange de chaleur par rayonnement, même si la température s'abaisse.

Dans le cas où la surface réceptrice aurait à peu près la même température que la flamme, il serait alors plus efficace d'accroître la différence de température en augmentant la température de la flamme.

Dans les cas où il y a un contact immédiat du jet de la flamme avec l'élément à réchauffer, l'échange de chaleur par convection peut être calculé par des moyens conventionnels et est du même ordre que l'échange par rayonnement vers une surface froide. Dans le cas d'une surface chaude, par exemple dans les fours des aciéries, glaciers ou cimenteries, la différence entre les températures des gaz et de la charge à chauffer est la chose la plus importante.

Les formules pour l'échange de chaleur par convection peuvent être appliquées dans chaque cas industriel particulier et un des buts de notre travail est de développer de telles formules pour les cas d'échanges par rayonnement.

##### 5. — Programmes futurs.

Les travaux sur les flammes de mazout et de gaz porteront sur l'enrichissement en oxygène de l'air comburant et sur les effets d'additifs au combustible, mélanges de mazout et de charbon pulvérisé inclus.

Le programme de recherches sur le charbon pulvérisé contiendra l'examen des effets de l'emploi de basses quantités d'air primaire avec différents types de charbon, dans le but de déterminer les conditions dans lesquelles le cracking et la formation des suies se produisent.

Nous voulons examiner aussi ce qui se passe dans une flamme de charbon. Les problèmes spécifiques aux échanges de chaleur peuvent être étudiés à chaud sur des modèles de fours industriels et, en ce qui concerne les fours Martin, ceci est déjà fait par la « British Iron and Steel Research Association ». Certains phénomènes d'ordre plus général peuvent être étudiés dans des fours-tunnels rectangulaires comme les fours d'IJmuiden, auxquels sera ajouté sous peu un petit four à chaud, aux parois calorimétriques revêtues de briques réfractaires.

## VISITE DE LA STATION EXPERIMENTALE

La station expérimentale occupe un bâtiment d'environ 500 m<sup>2</sup> dont la plus grande partie abrite les deux fours d'essais : four à gaz et à mazout d'une part et four à charbon d'autre part.

Les principaux instruments de mesures sont groupés dans une petite salle de contrôle et une autre salle est réservée à l'analyse des gaz. Une petite installation annexe sert à la préparation des charbons.

Lors de la visite, le four à gaz était en service tandis que le four à charbon pulvérisé était à l'arrêt pour permettre diverses modifications.

Dans les parois latérales des deux fours, une série de fentes verticales sont ménagées, ces fentes sont pourvues d'un système original de portes coulissantes qui permettent de déplacer les appareils

de mesures sur toute la hauteur du four, tout en évitant les rentrées d'air.

Les terminaisons des divers couples et pyromètres utilisés sont reliées à un tableau central situé dans la salle de contrôle et une simple modification de connexions permet de les brancher sur les différents potentiomètres enregistreurs.

Divers appareils de mesures ont dû être imaginés et réalisés par le personnel de la station, et notamment une sonde de prélèvement permettant l'aspiration du gaz et le dosage des suies en différents points de la flamme.

Signalons encore quelques installations accessoires : petits fours destinés à l'étalonnage des pyromètres et des thermocouples et maquettes de fours en plexiglas permettant l'étude du comportement aérodynamique des brûleurs.

## VII. — LA COKERIE DE LA SOCIETE ROYALE NEERLANDAISE DES HAUTS FOURNEAUX ET ACIERIES

Exposé par Ir. P. van DELDEN

### Historique.

En 1924, la Société Royale Néerlandaise des Hauts Fourneaux et Acieries (K.N.H.S.) a mis en opération son premier haut fourneau, auquel fut annexé une première batterie de fours à coke. C'est à partir de cet humble début que la cokerie se développa au cours des années, dans la mesure de l'augmentation de la production de fonte. En 1949, la production annuelle de fonte brute fut de 456 615 tonnes; le traitement de charbon dans la cokerie avait atteint le niveau de 1 600 tonnes par jour, comme suite de la mise en opération de la quatrième batterie.

A l'heure actuelle, la production de fonte brute des hauts fourneaux est de plus de 650 000 tonnes par an et l'on pense atteindre 1 000 000 de tonnes en 1958.

Comme suite à ce développement, nos besoins en coke on augmenté de telle façon qu'il nous a fallu acheter de grandes quantités à l'extérieur.

Depuis 26 ans, le gaz des fours à coke alimente l'usine d'engrais azotés M.E.K.O.G., et est livré comme gaz de ville aux communes environnantes. Cette dernière livraison a augmenté énormément après la guerre : la quantité de 110 millions de m<sup>3</sup> par an livrée aux usines à gaz de la province de

Hollande Septentrionale montre que la production totale de l'ancienne cokerie a trouvé son débouché.

En raison de la forte hausse du prix du charbon, après la guerre, et de la différence assez faible entre les prix du charbon et du coke, nous étions d'avis qu'une nouvelle extension de notre fabrication de coke n'était possible qu'à condition qu'un débouché rentable soit trouvé pour le gaz. Un contrat conclu avec la municipalité d'Amsterdam et nous garantissant la livraison de 50 % du gaz consommé par la ville, nous a donné la possibilité d'agrandir la cokerie, de sorte que deux nouvelles batteries de fours à coke furent mises en opération le 1<sup>er</sup> octobre 1955.

Comme suite à ces agrandissements, la livraison de gaz de ville a augmenté cette année, jusqu'à 200 millions de m<sup>3</sup>.

Une particularité de notre livraison de gaz est que nous avons trouvé un système de tarifs assurant le maintien d'une consommation constante pendant toute l'année. En supplément de notre livraison de base, les usines à gaz produisent elles-mêmes l'appoint nécessaire pour la grande consommation hivernale. Avec les agrandissements récents, nous n'avons pas seulement augmenté le traitement de charbon jusqu'au niveau de 2 400

tonnes par jour, mais encore renouvelé ou modernisé une partie importante des anciennes installations.

#### Stockage du charbon.

Par suite de la nécessité d'employer des quantités croissantes de charbon américain (60 % de nos besoins actuels), nous avons construit un dépôt de stockage entièrement nouveau, d'une capacité d'emmagasinage de 100 000 tonnes. Pour la répartition et la reprise du charbon, nous avons choisi un système inédit en Hollande, qui consiste à déplacer le charbon à l'aide de bulldozers au lieu de grues. Ce système a comme avantages non seulement une réduction des frais, mais encore un meilleur tassement du dépôt, qui évite l'oxydation et les élévations de température à l'intérieur des tas.

Le charbon peut être livré au dépôt de trois côtés : du port maritime s'il arrive par navire, du port intérieur s'il arrive en péniche et au moyen du culbuteur de wagons en cas de transport par rail. Un système de courroies transporteuses à vitesse de 2 m/sec, capable d'un débit de 350 à 500 t/h assure l'aménagement et l'évacuation. Les convoyeurs d'évacuation passant devant des soutes situées en bordure du dépôt sont alimentés au moyen de chariots distributeurs mobiles.

#### Préparation des mélanges de charbon.

Vu les difficultés croissantes d'approvisionnement du charbon, on a cherché à réaliser une installation de préparation et de mélange aussi bonne et aussi souple que possible. Voilà pourquoi nous avons accordé beaucoup d'attention au réglage des broyeurs à marteaux du poste de broyage. On a également choisi un système permettant le broyage et l'emmagasinage séparés de chaque sorte de charbon pour ne les mélanger qu'ensuite. Au besoin, de l'eau ou de l'huile peuvent être ajoutées lors du mélange.

#### Les batteries de fours à coke.

La cokerie comprend actuellement 6 batteries, dont la première, la plus ancienne, a été mise hors service le 1<sup>er</sup> octobre 1955. Les trois suivantes sont respectivement : une batterie Otto, une Koppers et une Wilputte. Les deux dernières sont du type Coppée avec portes Wolff. Chaque batterie comprend 30 fours, d'une capacité individuelle de 14 tonnes de charbon, et peut traiter 500 tonnes par jour. Les deux dernières batteries ont été construites par nous, sur base « ingénieur-conseil ». Toutes les batteries sont chauffées au gaz de haut fourneau.

#### Traitement du coke.

Le coke est traité dans un bâtiment de criblage tout neuf, muni de cribles à résonance. Pour la reprise du coke de l'aire d'égouttage, nous avons mis au point un nouveau système continu, pour lequel nous avons demandé brevet dans plusieurs pays.

#### L'usine de sous-produits.

Cette usine est constituée partiellement de nouvelles et d'anciennes installations. Le goudron n'est pas traité chez nous, mais dans une usine filiale : la « Teerbedrijf Uithoorn ».

En plus des appareils courants, il y a lieu de signaler : l'extraction humide du soufre, l'usine d'acide sulfurique et la nouvelle usine de benzol.

#### La livraison de gaz.

Une épuration finale a lieu dans des épurateurs secs, à cuves. Ensuite, le gaz est refoulé dans notre réseau de transport par des compresseurs à pistons, de différentes capacités. L'un des postes de compression comporte un tableau central pour l'enregistrement des données provenant des différents points du réseau.

## VISITE DE LA COKERIE

La visite a porté principalement sur les installations de préparation du charbon et plus particulièrement sur le nouveau parc de stockage desservi par bulldozers.

La disposition d'ensemble des installations de réception et de traitement du charbon est indiquée à la figure 55.

Le parc à charbon a une capacité de l'ordre de 100 à 150 000 tonnes; il est divisé en trois zones dont deux sont réservées au stockage des charbons américains et une au stockage des charbons européens (Allemands, Hollandais et Belges).

La figure 56 montre la disposition transversale du bâtiment construit en bordure du parc.

Le charbon, arrivant par la courroie transporteuse supérieure, est déversé à une dizaine de mètres du bâtiment par des convoyeurs transversaux montés sur des passerelles en porte-à-faux. Cette disposition permet aux bulldozers de passer en arrière des tas pour les pousser vers l'aire de stockage.

Lors de la reprise des stocks, les bulldozers poussent le charbon vers une ligne de silos en béton située dans la partie inférieure du bâtiment, en

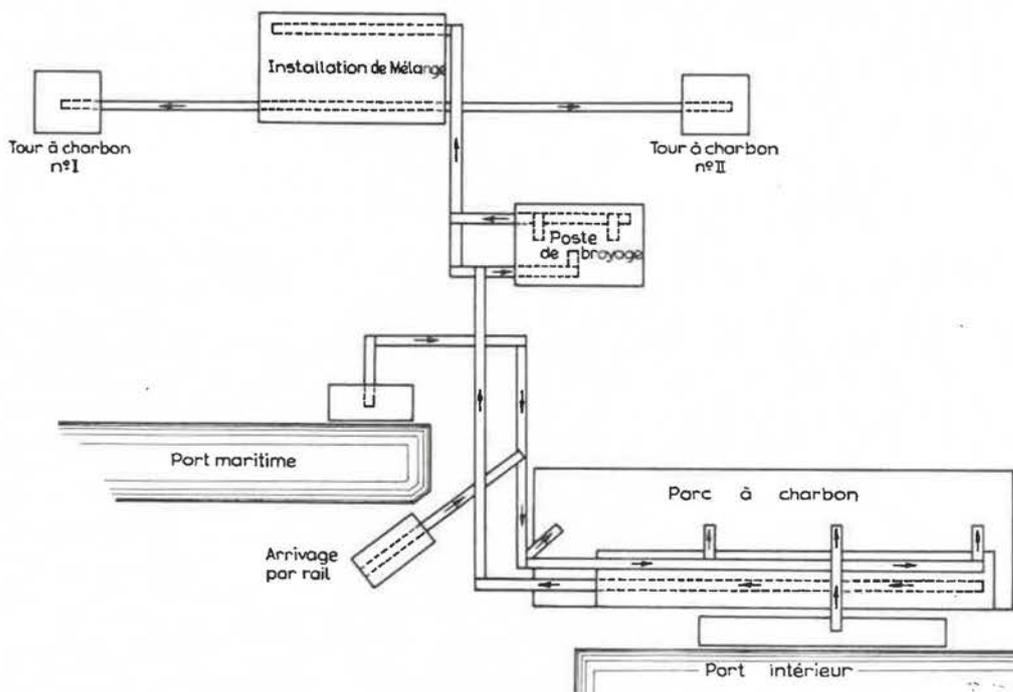


Fig. 55. — Disposition des installations de réception et de traitement des charbons.

contrebas du parc. Le charbon descend par une fente qui court sur toute la longueur des silos. Un chariot-distributeur se déplace parallèlement aux silos et assure le soutirage du charbon au moyen de deux moulins à axe verticaux équipés de racleurs.

Grâce au tassement énergique des couches successives, sous l'effet de la circulation des bulldozers, le charbon entreposé s'oxyde peu et la durée de séjour sur parc peut atteindre un an, sans détérioration appréciable des propriétés cokéfiantes.

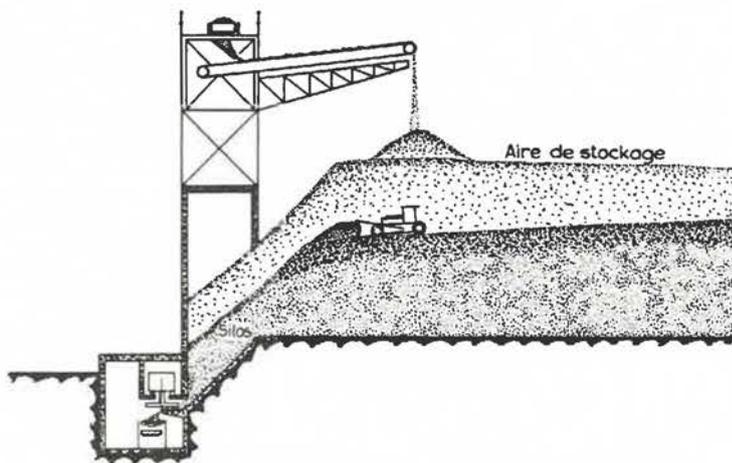


Fig. 56. — Coupe schématique à travers le bâtiment des silos à charbon.

## QUELQUES ASPECTS DE L'ETUDE STATISTIQUE DU COMPORTEMENT DU HAUT FOURNEAU

par M. P. BOSTER

Après la visite de la cokerie, les délégués ont eu l'occasion d'entendre une conférence de M. Booster, attaché aux laboratoires de la Société Royale Néerlandaise des Hauts Fourneaux et Aciéries.

Cette conférence, consacrée à l'étude des corrélations entre la mise au mille et les conditions

d'alimentation des hauts fourneaux, met en lumière la complexité du problème et la difficulté qu'il y a à dégager des conclusions certaines.

Le dépouillement des mises au mille hebdomadaires de trois hauts fourneaux, sur une période s'étendant sur plusieurs années, indique nettement

l'influence de trois paramètres principaux, à savoir :

la teneur en silicium de la fonte,

le poids de laitier (exprimé en % du poids de fonte), et

le poids de ferrailles enfournées.

L'influence de ces trois facteurs paraît à peu près linéaire. Les valeurs moyennes de leurs contributions respectives sont les suivantes.

La mise au mille augmente de 98 kg de coke/tonne de fonte pour chaque % d'accroissement de la teneur en silicium. Elle augmente de 3,5 kg de coke/tonne pour chaque % d'accroissement de la quantité de laitier. Elle diminue de 4,0 kg de coke/tonne pour chaque enfournement supplémentaire de 10 kg de ferraille.

On a également tenté de mettre en évidence l'influence d'une variation de qualité du coke; une expérience de longue durée a été entreprise en utilisant alternativement deux qualités de coke pour lesquelles l'essai Micum donne les résultats suivants :

Coke K.N.H.S. :  $M_{40} = 80 \%$        $M_{10} = 9 \%$

Coke « Maurits » :  $M_{40} = 85 \%$        $M_{10} = 7 \%$

Au bout de 16 semaines d'essais, il apparaît un écart moyen de mise au mille de 17 kg/t de fonte, mais en raison de la dispersion des points expérimentaux, cet écart ne peut pas encore être considéré comme significatif et, pour parvenir à une certitude mathématique de 95 %, les essais devront se poursuivre sur une période de 60 semaines.

## CONCLUSIONS

Deux faits ont particulièrement impressionné les délégués au cours de leur visite aux Pays-Bas :

- la part très large faite à la recherche dans l'organisation et dans le budget des Mines de l'État et
- l'essor exceptionnellement rapide des diverses industries de valorisation de la houille.

Le Centre de recherches minières de Treebeek et le Laboratoire Central de Geleen forment un ensemble absolument remarquable par leur ampleur et par leur organisation. Leur activité constitue incontestablement l'un des facteurs décisifs

de l'expansion des diverses industries de valorisation de la houille, cette expansion étant, d'autre part, favorisée par la concentration sous une même direction de deux vastes cokeries et de tout un complexe industriel de mines, de centrales électriques et d'usines chimiques.

La délégation belge tient également à souligner l'ampleur et l'intérêt des réalisations industrielles qu'il lui a été donné de voir et à rendre hommage aux organisateurs pour la parfaite organisation de ces visites.