

# Agglomération des charbons maigres par des liants non fumeux

par M. MARCOURT,

Ingénieur à Inichar.

## SAMENVATTING

Om in aanmerking te kunnen komen als vervangingsproduct van gecalibreerde anthracietachtige kolen, moet een agglomeraat aan talrijke vereisten voldoen: weerstand aan de behandelingen en aan de weersomstandigheden, gedrag bij verbranding, rookvorming, laag asgehalte en aannemelijke kostprijs.

De meeste bindmiddelen die voor de agglomeratie van de steenkolen werden voorgesteld beantwoorden niet aan al deze vereisten:

- de minerale bindmiddelen verhogen het asgehalte;
- teer en bitumen veroorzaken overvloedige rookvorming;
- de sulfittische wassing en de maniok-bloem weerstaan niet aan de weersomstandigheden.

Een enkele klasse van bindmiddelen schijnt aan al de voorwaarden te voldoen: het zijn de thermisch-hardende organische stoffen, namelijk het suprakol C, produkt van de franse firma Avébéne.

De toepassing van in water oplosbare bindmiddelen, hetzij sulfittische wassing, maniok, ureo-formol of suprakol C, vereist een thermische droging. Om deze behandeling te realiseren, heeft het Nationaal Instituut voor de Steenkolenrijverheid een nieuw procédé ontwikkeld, waarbij de droging geschiedt in een laag gefluidiseerd zand, hetgeen de duur van de operatie vermindert, de weerstand van de agglomeraten verhoogt en het ontvlammingsgevaar van de lading vermijdt.

Het drogen van de eierkolen, geagglomereerd door sulfittische wassing of door maniok, wordt uitgevoerd in 6 minuten bij 250° C. De polymerisatie van de suprakol C vereist een behandeling van 15 minuten bij een temperatuur van ongeveer 300° C.

De kostprijs van de rookloze eierkolen, op basis van suprakol C, wordt op 1.220 F/t geraamd.

## RESUME

Pour pouvoir se substituer aux calibrés anthraciteux, un aggloméré doit satisfaire à de nombreuses exigences: résistance aux manipulations et aux intempéries, tenue au feu, fumivorité, faible teneur en cendres et prix de revient acceptable.

La plupart des liants qui ont été proposés pour l'agglomération des houilles ne répondent pas à l'ensemble de ces desiderata:

- les liants minéraux augmentent la teneur en cendres des agglomérés;
- le brai et les bitumes produisent d'abondantes fumées;
- la lessive sulfittique résiduaire de papeterie et la farine de manioc donnent des agglomérés qui ne résistent pas aux intempéries.

Une seule classe de liant paraît satisfaire à toutes les exigences: ce sont les substances organiques thermodurcissables, et notamment le suprakol C, produit par la société française l'Avébéne.

La mise en œuvre des liants solubles dans l'eau, qu'ils soient du type lessive sulfittique, manioc, urée-formol ou suprakol C, exige un traitement thermique de dessiccation. Pour la réalisation de ce traitement, Inichar a introduit une nouvelle technique en lit de sable fluidisé, qui réduit la durée de l'opération, augmente la résistance des agglomérés et supprime les risques d'inflammation spontanée de la charge.

Le séchage des boulets préparés à la lessive sulfittique ou au manioc peut être réalisé en 6 minutes dans un lit de sable au voisinage de 250°; la polymérisation du suprakol C demande 15 minutes de traitement à une température de l'ordre de 300°.

Une estimation du prix de revient de boulets non fumeux, à base de suprakol C, conduit au chiffre de 1.220 F/t.

## 0. INTRODUCTION

L'agglomération des fines de charbons maigres ou anthraciteux, en vue de la production de combustibles domestiques artificiels, n'a trouvé jusqu'à présent qu'une solution de compromis. En effet, l'agglomération au brai de goudron, universellement utilisée, fournit un combustible qui présente la plupart des qualités des calibrés anthraciteux domestiques, mais qui dégage d'abondantes fumées lors de sa combustion en poêle. Le remplacement du brai par du bitume de pétrole n'a pas modifié le problème.

Dans les années passées, la demande de combustibles solides sur le marché belge était telle que l'utilisation du liant brai permettait une excellente valorisation des fines.

A l'heure actuelle, la consommation des agglomérés connaît une forte régression. L'année 1958 a vu une réduction de la production de l'ordre de 700.000 t, alors que l'importation de calibrés domestiques s'est montée à 1.200.000 t. Ces chiffres sont suffisamment éloquents et montrent l'orientation de l'usager vers des combustibles solides non fumeux.

De multiples qualités sont exigées d'un combustible domestique de premier choix :

- avoir une bonne résistance pour subir les manipulations et le transport ;
- être de densité convenable (si possible de l'ordre de 1,2) ;
- avoir une teneur en cendres limite de 6 à 7 % ;
- produire peu ou pas de fumées lors de la combustion ;
- ne pas se désagréger à l'eau et aux intempéries ;
- avoir une excellente tenue au feu ;
- être produit économiquement.

Ces conditions ne peuvent être remplies que si le liant lui-même répond à certaines conditions :

- être disponible en grandes quantités, de qualité uniforme et à un prix raisonnable ;
- avoir un pouvoir adhésif élevé ;
- être peu ou pas fumeux ;
- conférer à l'aggloméré une bonne tenue au feu.

Ce dernier point est particulièrement important et, dans la suite, il sera souligné à plusieurs reprises. Il n'existe malheureusement aucune méthode standardisée de détermination de la tenue au feu et l'appréciation de cette caractéristique est encore actuellement très aléatoire.

## 1. REVUE DES LIANTS

Les liants peuvent se subdiviser en deux grandes classes : les liants inorganiques ou minéraux et les liants organiques.

Ces derniers se répartissent en 3 types :

- les liants rendus fluides dans la pâte par chauffage et dont la prise se fait par refroidissement ;

- les liants solubles dans l'eau, rendus solides par dessiccation ;
- les liants solubles dans l'eau, durcis par réaction.

Ces groupes et sous-groupes vont être étudiés plus en détail.

### 11. Liants inorganiques.

Ces matériaux ont plusieurs avantages ; les plus importants sont d'être non fumeux et de former au feu le squelette nécessaire pour maintenir les fines de charbon jusqu'à l'achèvement de la combustion. Ils sont la plupart du temps peu coûteux et disponibles en grandes quantités.

Ils ont cependant d'énormes inconvénients qui, à l'heure actuelle, les font rejeter. Tout d'abord, leur faible pouvoir adhésif contribue à former des agglomérés qui sont fragiles lorsqu'ils quittent la presse et qui durcissent très lentement. Cette particularité conduit à utiliser des quantités élevées de liants (de l'ordre de 10 %) et, comme ceux-ci sont incombustibles, il en résulte une appréciable augmentation de la teneur en cendres. Ce lourd handicap joint, le plus souvent, à une mauvaise tenue à l'eau des agglomérés suffit à faire abandonner tout procédé d'agglomération basé sur l'emploi de liants minéraux. Parmi ces substances, la littérature relève l'utilisation des ciments tels que les ciments hydrauliques (surtout le Portland), le plâtre et le ciment Sorel. Bien que très bon marché, les deux premiers types ont eu peu de succès. Des teneurs de 10 à 12 % étaient requises tout en conférant aux boulets un durcissement lent et une mauvaise tenue à l'eau. Le ciment Sorel fut, en son temps, le plus intéressant des liants inorganiques. Il utilise le haut pouvoir de combinaison du  $MgCl_2$  et du  $MgO$  calciné. La dose de 5 % d'une solution à 14 %  $MgCl_2$  et à 28 %  $MgO$  suffit à donner un excellent boulet tenant bien au feu, dur, s'emmagasinant bien et résistant aux agents atmosphériques. L'inconvénient est l'emploi d'un liant dont les constituants sont d'un prix de revient relativement élevé et qui augmente la teneur en cendres des boulets d'au moins 2 %.

Un des premiers matériaux utilisés en agglomération est l'argile. Il offre cependant peu d'intérêt car les agglomérés obtenus sont fragiles, résistent mal aux manipulations et à l'eau et comportent une forte teneur en cendres.

D'autres matières inorganiques diverses ont été proposées. Citons le procédé coûteux à la chaux où les agglomérés soumis à l'action de fumées acquièrent la résistance par absorption de  $CO_2$  pour former du  $CaCO_3$ . Des boulets solides et résistants à l'eau auraient également été produits avec 10 % d'un liant contenant 85 parties d'une solution à 35 % de  $Na_2SiO_3$  et 15 parties d'un gel silicique (ce dernier étant obtenu par neutralisation de  $H_2SO_4$  par  $Na_2SiO_3$ ).

## 12. Liants organiques.

A l'inverse des matières minérales, les liants organiques brûlent durant la combustion, contribuent au pouvoir calorifique du combustible et laissent peu de cendres. Mais une substance organique ne peut être utilisée avec succès, comme liant d'agglomération du charbon, que si elle confère au boulet une bonne tenue au feu, c'est-à-dire si elle maintient les grains de charbons liés entre eux jusqu'à l'achèvement de la combustion. Dans ce cas, ces matières doivent avoir une haute température de ramollissement de telle sorte qu'à l'échauffement, elles ne fondent pas et ne permettent pas aux fines de charbon de se déliter. Elles doivent, si possible, se cokéfier dans le foyer domestique en donnant naissance à un squelette de coke suffisamment rigide et cohérent. Ce point est particulièrement important avec les charbons maigres non cokéfiant. Tous les liants organiques connus jusqu'à présent se dégradent partiellement au feu et, comme le résidu doit permettre la liaison des grains de charbon, il est utopique de croire qu'il soit possible d'incorporer des teneurs de liants organiques en dessous d'une valeur voisine de 4 à 5 %, même si des doses très inférieures sont suffisantes pour que l'aggloméré ait une bonne résistance à froid.

### 121. Sous-produits de la distillation des goudrons de houille et des pétroles.

Ces substances, solides à température ordinaire, sont insolubles dans l'eau. Leur mélange aux fines de charbon est rendu possible par ramollissement à 90-100° C. Le durcissement des agglomérés est obtenu par refroidissement des boulets chauds quittant la presse. Les brais de goudrons ont été de tout temps utilisés à l'agglomération. Les bitumes ne les ont supplantés que là où le brai était peu abondant.

Ces produits organiques ont le mérite de fournir des boulets ayant à peu près tous les critères de qualité : bonne tenue au feu, à l'eau et aux manipulations. Une seule propriété n'est pas satisfaite : c'est la fumivorté. Leur emploi en doses suffisamment petites pour donner des quantités négligeables de fumées produit des boulets de trop faible résistance, à moins que l'on y ajoute d'autres liants organiques ou inorganiques. La littérature relève plusieurs procédés basés sur ce principe. L'addition de matières minérales telles que la chaux, l'argile, le silicate, etc, ainsi que de substances organiques comme la farine, le sang, la lessive sulfiteuse, a été proposée. Ces méthodes n'ont abouti qu'à déprimer l'une ou l'autre des propriétés indispensables des boulets.

Le problème de la fumivorté des boulets au brai reste entier à moins de les carboniser ou de les oxyder par un traitement thermique subséquent.

### 122. Liants organiques solubles dans l'eau faisant prise par dessiccation.

Cette classe de liants organiques groupe une très grande variété de produits, lesquels sont tous non fumeux. Le liant est solubilisé dans l'eau pour la préparation de la pâte et les agglomérés sont durcis par dessiccation. L'utilisation de ces substances organiques s'est heurtée à deux difficultés : la rationalisation du séchage et l'obtention de boulets résistants aux agents atmosphériques.

La mise au point d'une technique de séchage a été de tout temps un des problèmes les plus délicats. En principe, la dessiccation des boulets était réalisée par balayage de fumées chaudes. Comme ces dernières sont généralement oxydantes, des combustions spontanées de la charge ne pouvaient être évitées que par limitation de la température de traitement, cette dernière étant fonction de la réactivité du charbon utilisé. Le mauvais coefficient de transmission de chaleur des fumées, ainsi que la faible température de séchage, imposent des durées de traitement assez longues et, de ce fait, un four de très grandes dimensions. Les conditions difficiles de construction et d'exploitation d'installations de séchage thermique ont rendu aléatoire la rentabilité de beaucoup de procédés.

Une usine d'agglomérés à Langenbrahm, dans le district de la Ruhr, fabriquait vers les années 1909-1917 des boulets ovoïdes à la lessive sulfiteuse. Ils étaient durcis par séchage thermique dans une installation de 6 trommels superposés. Le procédé a échoué.

La firme Vloeberghs à Anvers a travaillé à la fabrication de boulets à la lessive sulfiteuse durant quelques années avant et après la guerre. Pour une capacité de production de 10 t/h, il utilisait deux fours tunnels dans lesquels se déplaçaient deux transporteurs de 1,2 m de largeur sur 50 m de longueur. Le temps de séchage variait entre 30 et 40 min, la température de 220° C ne pouvait être dépassée sans risque d'inflammation. A l'heure actuelle, l'installation ne fonctionne plus ; la lessive sulfiteuse a été remplacée par du brai sulfatique ou brai « Nova » en vue de fabriquer des boulets, malheureusement non fumivores, suivant la technique d'agglomération au brai.

La deuxième difficulté propre à ce groupe de liants organiques est le manque de résistance aux intempéries des agglomérés produits. Les agglomérés à la lessive sulfiteuse et à l'amidon en sont un exemple frappant. Des artifices ont été souvent proposés pour vaincre ce défaut ; ils ne conduisent qu'à incorporer des substances fumeuses et insolubles dans l'eau telles que brais et asphaltes.

Ce type de liant soluble ne peut donc conférer aux boulets une insensibilité suffisante aux intempéries et il exclut ainsi leur emmagasinage en plein air. Certaines de ces substances cependant convien-

nent très bien pour conditionner une charge de boulets devant subir une opération finale de carbonisation ou de gazéification.

#### 1221. Hydrates de carbone.

Ces produits ont généralement un bon pouvoir adhésif et certains d'entre eux se trouvent en quantités suffisantes dans la nature, pour pouvoir être utilisés dans l'agglomération.

Le principal polysaccharide, du point de vue agglomération du charbon, est l'amidon ; c'est un hexosane. Il est le constituant le plus important de certaines parties de plantes, graines et tiges souterraines comme le manioc. Il n'est pas soluble à froid, mais il gonfle dans l'eau chaude pour donner des gelées appelées empois. Son pouvoir adhésif est tel qu'une partie de ce liant peut remplacer 2 à 3 parties de brai.

Les sucres en général, tels que glucose, dextrine, mélasse et gluten, ont été suggérés comme liants. La faible disponibilité de ces substances, alliée à la mauvaise résistance aux intempéries qu'elles confèrent aux boulets, contribue à les éliminer.

Les gommes végétales appartiennent également à la catégorie des hydrates de carbone : ce sont des pentosanes ou des hexosanes. Économiquement, elles ne peuvent être utilisées à échelle commerciale.

La cellulose est le plus répandu des polysaccharides : c'est un hexosane. Elle constitue la partie essentielle des parois des cellules végétales et est le seul hydrate de carbone insoluble dans l'eau. Comme telle, elle ne peut être utilisée à l'agglomération. Cependant, la pulpe de papier a déjà été expérimentée comme liant à l'état finement divisé ou sous forme de gelée après traitement chimique. Les deux formes sont coûteuses et les agglomérés ne sont pas résistants à l'eau. Il a été constaté également que le xanthogénate de cellulose avait un pouvoir adhésif très élevé et pouvait être utilisé, à des teneurs inférieures à 1 %, à l'état solide ou sous forme de viscoïde en solution dans l'eau. Les boulets ainsi obtenus à partir de fines maigres ont une mauvaise tenue au feu et sont sensibles aux agents atmosphériques. Ces défauts et la cherté du liant excluent tout développement industriel.

#### 1222. Lessive sulfiteuse.

Les fabriques de pâtes à papier ont pour but de séparer du bois la lignine et autres substances liant les fibres de cellulose, tout en dégradant le moins possible cette dernière.

Les bois généralement utilisés sont le hêtre et le pin dont les principaux constituants sont caractérisés dans le tableau I.

TABLEAU I.

Constituants en % du bois sec	Pin	Hêtre
Cendres (%)	0,77	1,13
Gommes (%)	2,29	1,72
Pentosane (%)	11,24	23,97
Cellulose (%)	57,55	51,54
Lignine (%)	28,15	21,65

Après extraction, la liqueur usée ne contient que 5 à 8 % de matières organiques sèches en solution. Elle doit être épaissie en vue de son utilisation. Le degré d'épaississement est conditionné par les frais d'évaporation et le coût inhérent au transport de la lessive entre l'usine de préparation et le lieu de son emploi. C'est généralement la lessive à 31-35° Bé (environ 50 % de résidu sec) qui réalise le compromis le plus économique.

En principe, les matières organiques contenues dans les lessives résiduelles doivent être celles du bois, à l'exclusion de la cellulose. En fait, ce sont souvent des produits de simplification résultant de la nature de la liqueur réactive et du traitement de concentration. Dans le procédé sulfiteux à base de calcium, les matières organiques se répartissent conformément à l'analyse type suivante : 67 % d'acides lignosulfoniques, 28 % d'hydrates de carbone et dérivés sucres-anhydride sulfureux, 5 % de sulfate de calcium.

La lessive sulfiteuse a été fréquemment suggérée sous toutes ses formes comme liant pour l'agglomération de charbons maigres. Malheureusement, les agglomérés obtenus ont une très mauvaise résistance aux intempéries. Divers artifices ont été utilisés afin de les rendre insolubles dans l'eau. Le principal est la production d'un liant composé par mélange à la lessive de substances telles que le goudron, l'asphalte, le brai, etc... L'inclusion de tels adjuvants conduit, dans tous les cas, à la production de fumées durant la combustion. Une autre méthode consiste à cuire les agglomérés à environ 316° C durant 20 min afin de réaliser la cokéfaction des substances organiques de la liqueur. Le résultat d'un tel traitement est de rendre les agglomérés fragiles.

D'autres méthodes ont été proposées en vue de produire à partir de la lessive sulfiteuse elle-même un adhésif résistant à l'eau. Ce principe fait l'objet d'un des paragraphes suivants.

#### 1223. Substances organiques diverses.

La tourbe a été employée avec succès comme liant et a permis de produire des boulets satisfaisant aux différents critères de qualité. Elle doit être traitée avec un alcali afin de l'amener à un pH faiblement

alcalin. Elle doit ensuite macérer avant incorporation au charbon. La quantité disponible de ce liant est limitée en raison de la nature très localisée des gisements.

Beaucoup d'autres substances organiques ont été suggérées : caoutchouc, résidus tannins, albuminoïdes et produits de lait, déchets de brasserie, rebuts d'abattoir, etc... L'utilisation économique de ces produits ne peut être envisagée avec succès dans une usine à grande échelle.

### 123. Liants solubles durcis par réaction.

Pour autant que la technique de séchage soit mise au point, les agglomérés fabriqués à partir de quelques-uns des liants organiques décrits ci-dessus présentent tous les critères de qualité, hormis la résistance à l'eau.

Il existe une dernière classe de liants qui permet de répondre à cette exigence. En principe, le liant est constitué d'un mélange de substances convenablement dosées qui réagissent entre elles pour former, au sein même des boulets, un film dur et insensible à l'humidité. Le phénomène qui est à la base de cette réaction peut se produire à froid, à chaud et le plus souvent sous l'effet d'un catalyseur approprié.

#### 1231. Premières tentatives.

La littérature relève quelques procédés anciens basés sur cette méthode. Citons la production à échelle commerciale d'agglomérés satisfaisants, obtenus à partir d'un mélange dont les constituants rapportés sur charbon sont : 0,25 % de chaux, 1 % de gomme et 0,2 % d'une solution à 40 % de formaldéhyde.

Dans l'utilisation des mélasses de sucreries, l'addition d'une petite quantité d'acide orthophosphorique conduit à des agglomérés insolubles dans l'eau pour autant qu'ils aient été traités entre 200° C et 430° C.

Dans cet ordre d'idées, les dextrines additionnées de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré donnent des agglomérés résistants à l'eau lorsqu'ils sont chauffés à 135° C.

Généralement, la production de ces matériaux organiques est très localisée et leur disponibilité insuffisante. De plus, certains d'entre eux, en raison de leur prix, devraient être utilisés en trop petites quantités pour pouvoir conférer aux boulets une tenue au feu satisfaisante.

#### 1232. Urée-formol.

L'urée-formol est une résine synthétique thermodurcissable. Une première étape de réaction entre l'urée et la formaldéhyde conduit à la méthylèneurée, laquelle est polymérisable lorsqu'elle est placée en milieu acide et cela, d'autant plus rapidement que la température de réaction est voisine de 120° C.

C'est sous la forme de méthylèneurée que l'urée-formol est employée dans la fabrication du « Linex » et de l'« Unalit » et pourrait être utilisée dans l'agglomération des charbons. Le pH acide est obtenu par addition de faibles quantités de durcisseur (NH<sub>4</sub>Cl) immédiatement avant emploi de la résine plastique. Ses possibilités d'utilisation seront commentées au chapitre suivant.

#### 1233. Suprakol C.

Le liant suprakol C est une lessive sulfiteuse modifiée par la Société française « L'Avébéne ». Certains produits ajoutés, telle la triéthanolamine, permettent sa transformation en matière insoluble dans l'eau par chauffage à une température comprise entre 220° C et 275° C. Cette colle se présente sous forme d'un liquide concentré à 63 % de matières sèches, son utilisation sera examinée plus loin.

## 13. Premières conclusions.

L'examen assez détaillé de tous les types de liants permet de conclure qu'aucune de ces substances ne satisfait à tous les desiderata de qualité exigés par un combustible domestique de choix.

A l'heure actuelle, les matériaux inorganiques ne peuvent être envisagés comme liant d'agglomération du charbon. Même dans le cas le plus favorable comme le ciment Sorel, la teneur en cendres du boulet fini augmente de 2 points minimum.

Les matériaux organiques du type brai sont suffisamment connus par leur quantité abondante de fumées. Ce défaut ne peut être corrigé que par un traitement subséquent de défumage ou de carbonisation.

La plupart des autres produits organiques, et souvent ceux qui ont l'action la plus adhésive, manquent de résistance à l'eau. L'incorporation à ces substances d'une petite quantité de matériau hydrophobe ne fait que déplacer le problème.

De tous les liants examinés, les seuls qui paraissent susceptibles de donner des agglomérés résistants, fumivores et insensibles aux agents atmosphériques, sont ceux que nous avons groupés dans la catégorie des liants organiques solubles du type thermodurcissable. L'emploi industriel de ces substances sera conditionné par le prix de revient du boulet fini.

## 2. RECHERCHES D'INICHAR

### 21. Introduction d'une nouvelle technique de séchage.

Comme il a été signalé dans le paragraphe des liants organiques solubles dans l'eau, le séchage thermique fut de tout temps un problème technologique délicat. Les derniers fours en date sont des fours tunnels dans lesquels circulent des bandes

transporteuses métalliques. Le mauvais coefficient de transfert de chaleur entraîne des durées de dessiccation élevées et, de ce fait, des fours de très grandes dimensions dont la conduite est rendue difficile par les risques d'inflammation spontanée de la charge. Ces inconvénients peuvent être supprimés en réalisant le transfert de chaleur par l'intermédiaire d'un corps solide et inerte mis en fluidisation. Le lit de sable fluidisé a, en effet, pour avantage d'uniformiser la température et de s'opposer à la production de « points chauds » ; il permet de réaliser une transmission calorifique très rapide et les risques d'inflammation spontanée sont écartés par la présence d'une grande masse inerte, que le gaz de fluidisation soit des fumées faiblement oxydantes ou même de l'air pur.

## 22. Essais de laboratoire.

Le premier dispositif expérimental utilisé en laboratoire est schématisé à la figure 1.

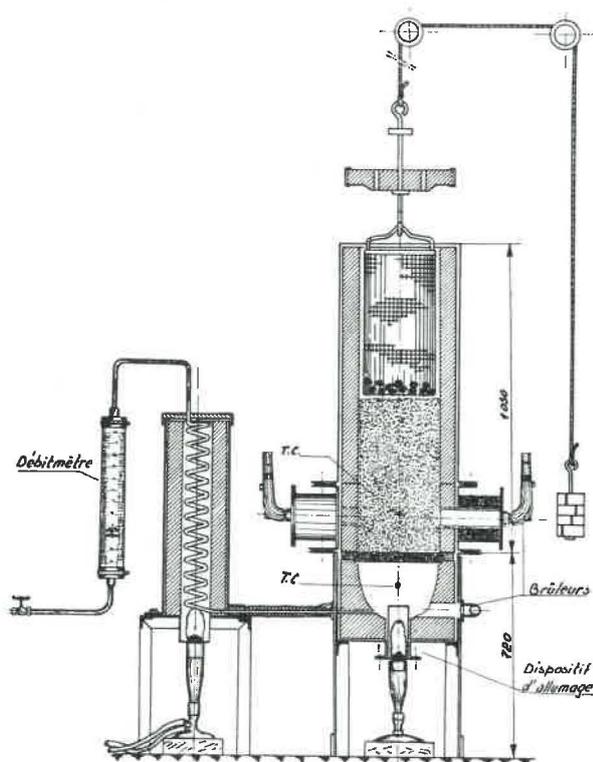


Fig. 1. — Dispositif expérimental de séchage en lit fluidisé.

La cuve de fluidisation est un cylindre vertical de 28 cm de diamètre intérieur entouré de réfractaires. Le fond de cette cuve, constitué par une dalle en céramique poreuse, surmonte une chambre de combustion dans laquelle débouchent deux brûleurs Meker ; deux autres brûleurs disposés dans des chambres latérales peuvent être mis en service lorsqu'on désire porter le lit de sable à très haute température.

Les brûleurs ne sont utilisés que pour le préchauffage du lit. Pendant l'opération de séchage, la fluidisation est assurée par l'azote, chauffé dans un four auxiliaire. Les agglomérés placés dans un panier en treillis métallique à maille de 20 mm, sont immergés dans le bain de sable pendant un temps exactement mesuré. Un dispositif de poulies et de contrepoids assure la manœuvre simultanée du panier et du couvercle en réfractaire qui surmonte la cuve.

Les boulets fabriqués à l'échelle du laboratoire ont été briquetés à la presse hydraulique sous une pression de 300 kg/cm<sup>2</sup> durant 10 secondes. Leur forme est celle d'un cylindre plat de 35,6 mm de diamètre et de  $\pm 10$  mm de hauteur, surmonté de deux calottes sphériques de 7 mm de flèche.

## 221. Agglomération à la lessive sulfiteuse

Le début des recherches d'Inichar a porté sur la production de combustibles domestiques artificiels à partir de charbons gras ou flambants agglomérés à la lessive sulfiteuse. Bien que n'appartenant pas directement au problème de l'agglomération des charbons maigres, ces essais ont permis d'expérimenter la technique de séchage en lit de sable fluidisé.

Une première étude indiquée à la figure 2 montre le peu d'intérêt industriel du séchage atmosphé-

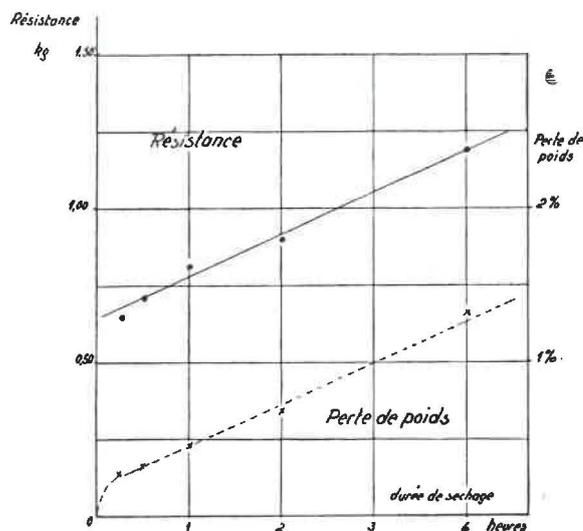


Fig. 2. — Etude du séchage à température ambiante.

rique à température ambiante. Après 4 heures de séjour à l'atmosphère, la résistance des boulets atteint à peu près le double de la valeur initiale, laquelle au sortir du moule est extrêmement faible (de l'ordre de 0,65 kg).

Le séchage à l'étuve à 200° C s'apparente au séchage en four tunnel. La figure 3 montre l'évolution des résistances et des pertes de poids après diverses durées d'étuvage. Il faut au minimum une heure

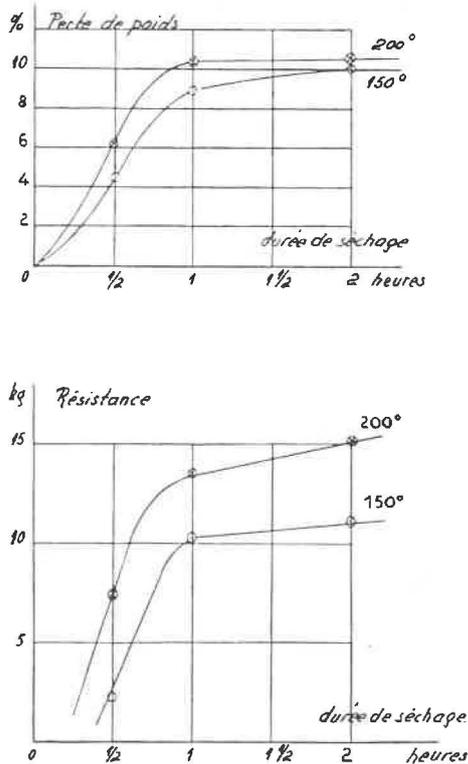


Fig. 3. — Étude du séchage à l'étuve.

pour parvenir à une dessiccation complète, conduisant à une résistance convenable. Le type de charbon joue cependant un rôle important ; l'étude présente a été réalisée sur du charbon flambant de nature très poreuse et on peut s'attendre à des durées nettement plus faibles pour des charbons anthraciteux.

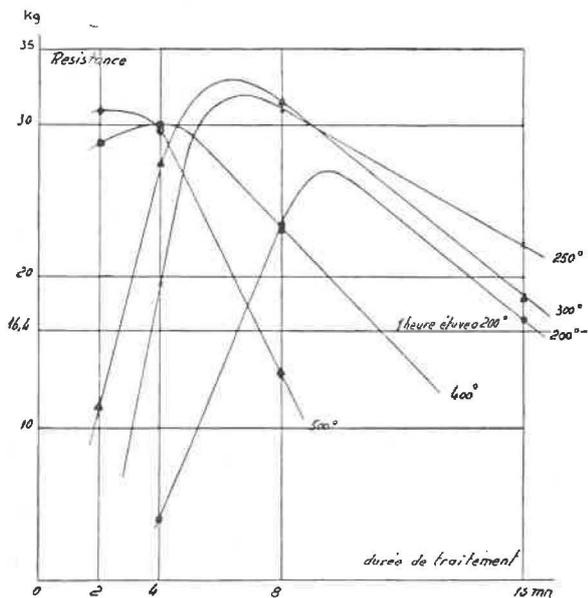


Fig. 4. — Résistance des boulets en fonction de la température et de la durée de traitement — Charbon flambant 0-2 mm.

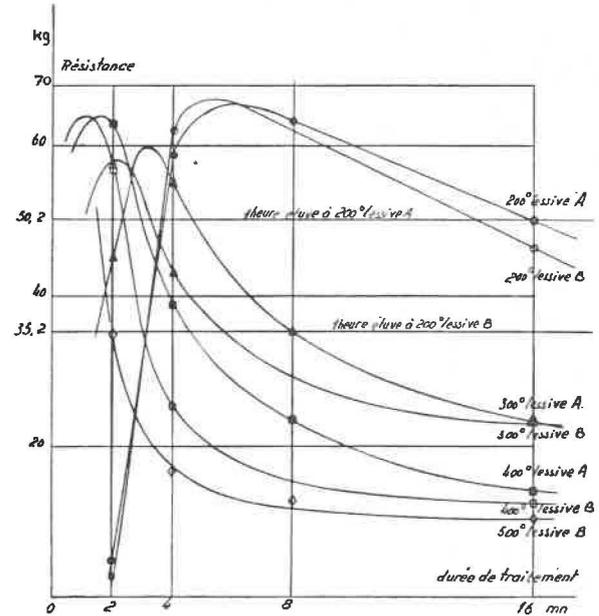


Fig. 5. — Résistance des boulets en fonction de la température et de la durée de traitement — Charbon quart-gras 0-2 mm.

Les figures 4 et 5 montrent l'évolution des résistances des boulets séchés en lit de sable fluidisé. Ces dernières sont les valeurs moyennes obtenues sur dix boulets après 1 h de refroidissement dans l'atmosphère du laboratoire. A titre de comparaison, on a également reporté les résistances obtenues après séchage d'une heure à l'étuve à 200° C, suivi d'une heure de refroidissement à l'atmosphère.

Toutes les courbes de résistance passent par un maximum dont la position en ordonnée dépend de la nature du charbon et de la température de séchage ; les durées de traitement optima sont comprises entre 2 et 8 minutes et sont d'autant plus courtes que la température est élevée. Les cohésions maxima dépassent très largement celles obtenues à l'étuve à 200° C.

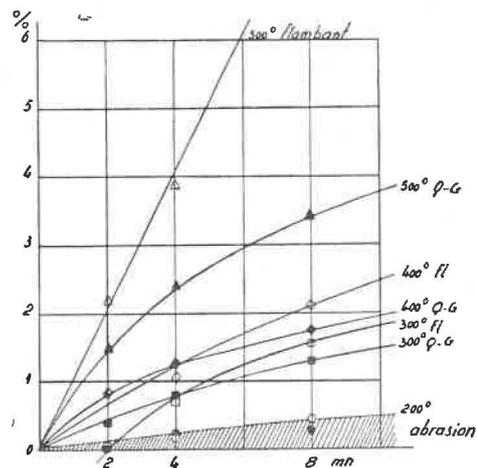


Fig. 6. — Départ de M.V. et perte par abrasion — Charbon flambant et charbon quart-gras.

Une étude de la perte de poids, lors du traitement en lit fluidisé, est indiquée à la figure 6. L'érosion de la surface des boulets peut s'identifier à la perte de poids à 200° C et est inférieure à 0,5 % pour les durées optima de séchage. La perte supplémentaire observée jusqu'à 300° C résulte du départ de matières volatiles du liant. Le cracking de ce dernier devient important et cause les chutes de résistances, lorsque le temps de traitement est trop long.

Les nombreux essais de séchage faits en laboratoire permettent de dire que, pour une abrasion relativement faible, le séchage en lit de sable fluidisé présente le double avantage de réduire la durée de traitement tout en améliorant la résistance des agglomérés.

**222. Agglomération à l'urée-formol.**

La résine plastique se présente sous forme d'un liquide visqueux à 70 % de résidu sec et 30 % d'eau.

Une étude préliminaire a permis d'établir que la proportion optimum d'urée-formol est de 4 % à 6 %, tandis qu'une addition d'eau de 2 à 4 % est indispensable pour permettre la bonne répartition du liant dans le boulet.

La comparaison des traitements en lit de sable fluidisé et à l'étuve met en évidence la supériorité du séchage rapide. Le diagramme 7 fait apparaître qu'une durée de traitement de 5 min à 200° C est suffisante pour obtenir des agglomérés dont la résistance est double de celle obtenue à l'étuve durant 30 à 40 min, à même température. Les résultats sont d'autant plus remarquables que ce faible temps de traitement est suffisant pour permettre la polymérisation de l'urée-formol jusqu'au cœur des boulets ; ces derniers résistent parfaitement bien à l'eau. Malheureusement, le liant est coûteux et la tenue au feu des agglomérés paraît médiocre.

**223. Agglomération au suprakol C.**

Les essais de laboratoire d'Inchar ont été également poursuivis sur du charbon anthraciteux lié avec 7 % de suprakol C.

L'évolution des résistances obtenues au sable fluidisé à différentes températures est figurée au diagramme 8, en fonction du temps de traitement. La courbe des cohésions obtenues après trempage

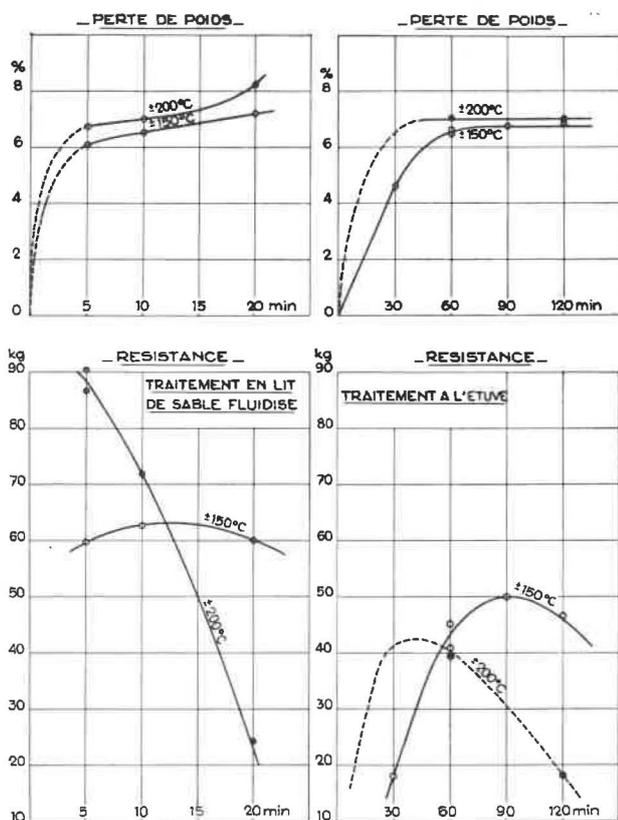


Fig. 7. — Perte de poids et résistance de boulets agglomérés à l'urée-formol en fonction de la température, de la durée et du type de traitement thermique.  
Mélange : 90 % charbon maigre  
6 % colle urée-formol  
4 % eau de dilution

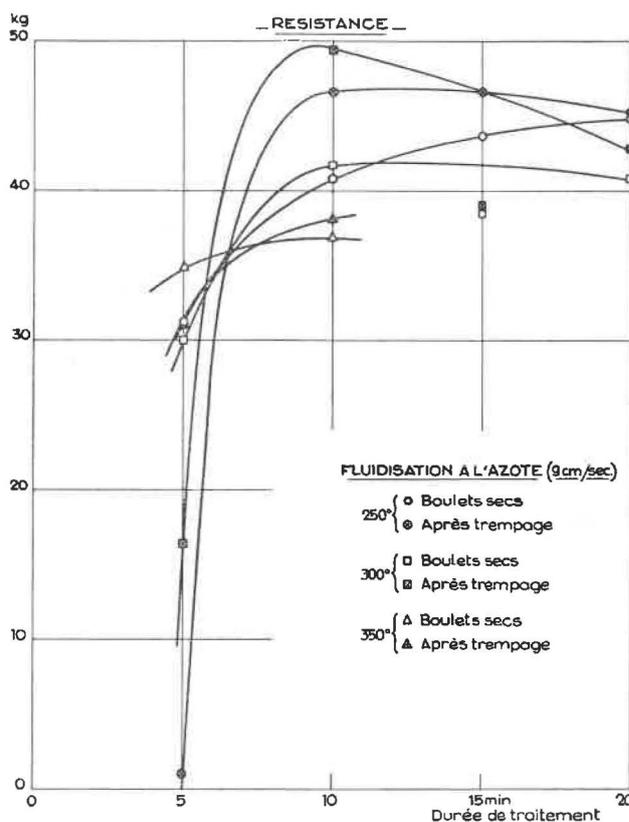


Fig. 8. — Résistance de boulets anthraciteux agglomérés au suprakol C en fonction de la température et de la durée de traitement thermique.  
Mélange : 93,5 % charbon anthraciteux  
6,5 % suprakol C

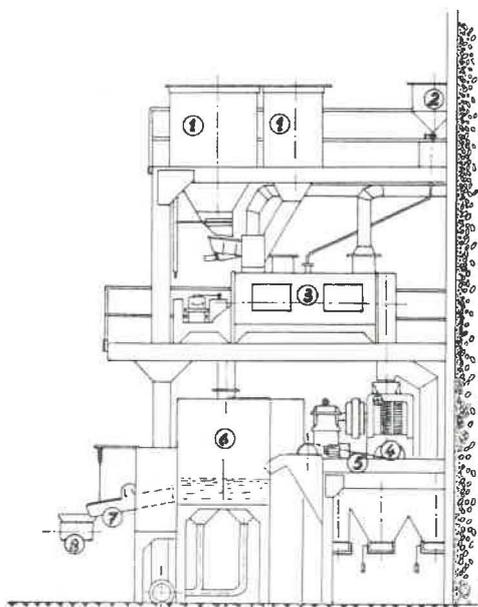
dans l'eau y est également tracée. La technique de traitement rapide est parfaitement applicable à ce type de liant. La durée optimum en sable fluidisé

est de l'ordre de 10 min et les températures les plus favorables sont comprises entre 250 et 300° C.

Après immersion dans l'eau et essorage d'une heure, les résistances sont généralement supérieures à celles des agglomérés séchés correspondants.

### 23. Essais semi-industriels de séchage en lit de sable fluidisé.

Les résultats encourageants obtenus en laboratoire nous ont conduits à aborder la réalisation d'une installation pilote d'agglomération à la lessive sulfiteuse à l'échelle semi-industrielle.



- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Trémies d'alimentation          | 5 Transporteur                    |
| 2 Réservoir de lessive sulfiteuse | 6 Four de séchage                 |
| 3 Mélangeur                       | 7 Crible                          |
| 4 Presse à boulets                | 8 Transporteur de refroidissement |

Fig. 9. — Disposition de l'installation pilote.

La figure 9 montre la disposition d'ensemble de cette installation dont les organes principaux sont :

- un mélangeur malaxeur à pales tournantes, d'un volume total de 1.200 litres (capacité utile : environ 600 litres),
- une presse à boulets, d'une capacité de 750 kg/h et
- un four de séchage à lit de sable fluidisé, équipé d'un brûleur à gaz d'une puissance thermique de 200.000 kcal/h.

Le mélangeur, construit par la firme Lödige (Paderborn), peut être utilisé en fonctionnement continu ou discontinu ; une double enveloppe et un dispositif d'injection de vapeur permettent de varier à volonté la température de la pâte.

La presse à boulets, de fabrication S.K.B. (Dortmund), est à double rangée d'alvéoles, avec cylindre de 640 mm de diamètre et de 90 mm de largeur ;

elle est prévue pour une vitesse tangentielle de 0,135 m/s.

Le four de séchage constitue la partie la plus originale de l'installation ; la réalisation en a été confiée à la firme Stein et Roubaix ; sa disposition d'ensemble est indiquée à la figure 10.

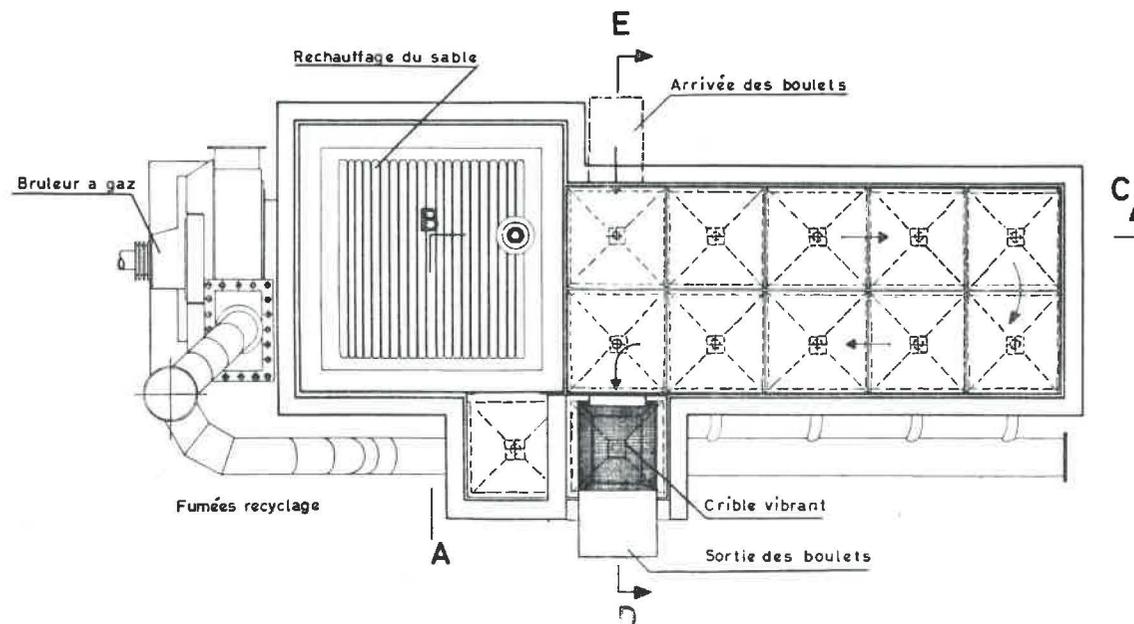
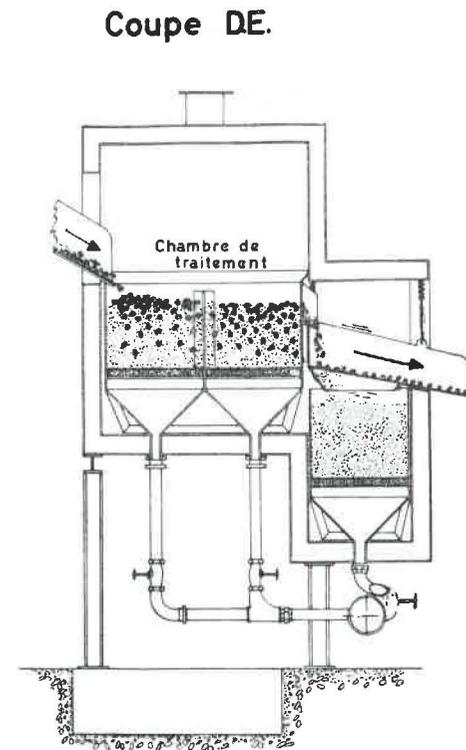
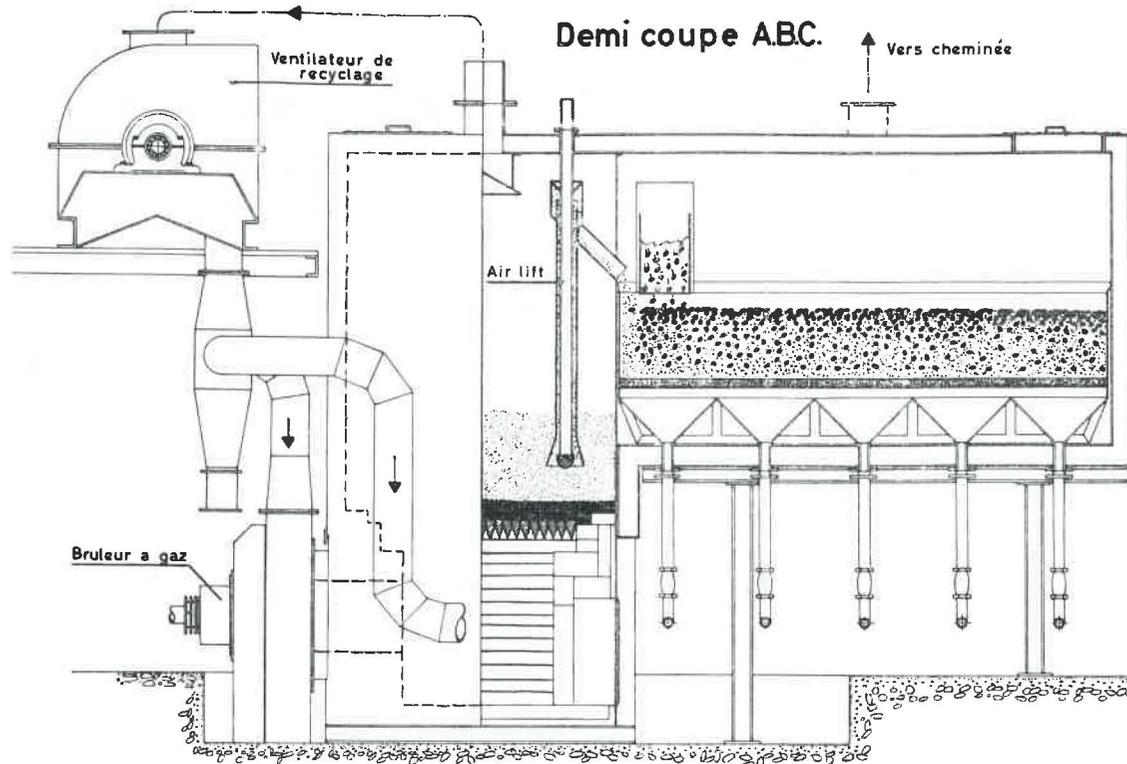
La chaleur nécessaire est fournie par un brûleur à gaz de ville, prévu pour un débit maximum de 50 m<sup>3</sup>/h. Les fumées de combustion ramenées vers 1.000° C par mélange à des fumées recyclées, montent à travers un lit filtrant de granulés de silice et d'émeri, porté par une grille de fonte réfractaire. Les fumées traversent ensuite un lit de sable fluidisé qu'elles échauffent à une température réglable entre 200 et 450° C. Elles sont reprises par un ventilateur de recyclage, une partie du débit retourne vers la chambre de combustion, le restant étant utilisé pour la fluidisation du sable dans le chenal de traitement des boulets.

Les parois latérales de ce chenal sont en tôle d'acier, sa paroi de fond étant constituée par un diffuseur en grenailles de fonte de 1,4 mm de diamètre moyen. Un dispositif pneumatique de relevage y déverse le sable préchauffé, qui s'écoule par gravité jusqu'à un déversoir de hauteur réglable. Les boulets crus, provenant de la presse, sont mélangés au sable dès l'entrée du chenal et sont entraînés dans son mouvement jusqu'au déversoir de sortie. Le mélange tombe alors sur un crible vibrant, le sable est recyclé vers le four tandis que les boulets sont déversés sur un transporteur métallique de refroidissement.

Tous les facteurs intervenant dans le traitement sont réglables dans d'assez larges limites. La vitesse de fluidisation peut varier entre un minimum de 5 cm/s et un maximum de 20 cm/s. La hauteur du lit est réglable par modification de la hauteur du déversoir. La longueur du parcours des boulets peut être modifiée de 1 à 5 m grâce à un système de cloisons amovibles. Quant à la durée de traitement, il est possible de la faire varier en agissant simultanément sur le débit de sable, la longueur du parcours et la hauteur du déversoir.

### 231. Agglomération à la lessive sulfiteuse.

Le séchage de boulets agglomérés avec ce type de liant a été réalisé en continu durant plusieurs semaines. Le passage de l'agglomération en laboratoire au stade semi-industriel n'a pas été sans poser quelques problèmes : le briquetage à petite échelle étant réalisé à la presse alternative durant 10 secondes, les gaz occlus dans la pâte pouvaient s'échapper, ce qui donnait des boulets ayant une certaine cohésion dès la sortie du moule. Dans la presse à roues mouleuses, la durée de briquetage n'est que de l'ordre de 10 à 15 centièmes de seconde ; elle est beaucoup trop courte pour réaliser l'évacuation des gaz emprisonnés dans la pâte.



**FOUR DE TRAITEMENT  
DES BOULETS EN LIT  
DE SABLE FLUIDISE**  
capacité 750 kg/h

Fig. 10. — Four de traitement des boulets en lit de sable fluidisé.

La plupart des charbons que nous avons expérimentés ont néanmoins pu être agglomérés sans difficulté, mais certains produits de très grande surface spécifique se sont avérés très difficiles à traiter et le problème de l'agglomération à la lessive sulfiteuse des schlamms flottés et des charbons flambants n'est encore que partiellement résolu.

Durant nos premières campagnes d'agglomération, nous avons utilisé des charbons gras A, gras B et un peu de flambant, en mélange avec du charbon maigre. Les doses de lessive sulfiteuse sèche ont varié de 4 à 6 % rapportés sur charbon sec, tandis que l'humidité des boulets crus était comprise entre 6 et 9 %.

Le charbon broyé à raison de 300 à 350 kg et la lessive diluée étaient introduits dans le mélangeur et malaxés à grande vitesse durant 12 à 15 min. Après ce laps de temps, les mélangeurs étaient mis à vitesse réduite, tandis que le déversoir était progressivement abaissé pour permettre l'alimentation de la presse.

La hauteur du lit de sable dans le chenal a été réglée à 30 cm, la vitesse de fluidisation étant maintenue au minimum possible sur tout le parcours.

Au cours de chacune des opérations de séchage, 100 boulets témoins, peints en blanc, ont été introduits dans le four, en vue de la détermination de la durée de traitement. L'agitation qui règne dans le lit fluidisé entraîne une certaine dispersion des boulets et le chronométrage des durées de parcours permet d'établir la loi de cette dispersion. Quelques-uns des points expérimentaux ont été reportés à la figure 11. Ils s'alignent parfaitement sur le canevas

logarithme-normal, ce qui montre que la dispersion des boulets dans le lit fluidisé obéit à la loi du hasard. Elle est cependant assez faible pour que les durées de séjour de la majeure partie des agglomérés soient proches du temps « médian » et les durées de séjour nécessaires à la production de boulets de résistance maximum n'ont été que légèrement supérieures à celles qui avaient été prédéterminées en laboratoire.

La faible durée de compression des boulets, dans la presse à roues tangentées, a entraîné la limitation de la température de traitement au voisinage de 270° C afin d'éviter le dégagement trop rapide de la vapeur d'eau et surtout des gaz contenus dans les agglomérés crus, le choc thermique trop violent pouvant provoquer la fissuration des boulets. Au cours des essais, les températures moyennes ont varié entre 240 et 270° C sans que l'aspect des boulets séchés en soit sensiblement modifié.

**232. Agglomération au manioc.**

Le haut pouvoir adhésif de l'amidon a été confirmé par une série d'essais sur des boulets agglomérés au moyen de 2 % de farine de manioc à 80 % d'amidon.

L'agglomération a été conduite comme suit :

- préchauffage du charbon jusqu'aux environs de 85° C à l'intérieur du malaxeur ;
- introduction du manioc sec et mélange durant 2 min ;
- introduction de la quantité d'eau nécessaire pour provoquer la gelée d'amidon (de l'ordre de 8 %) ;

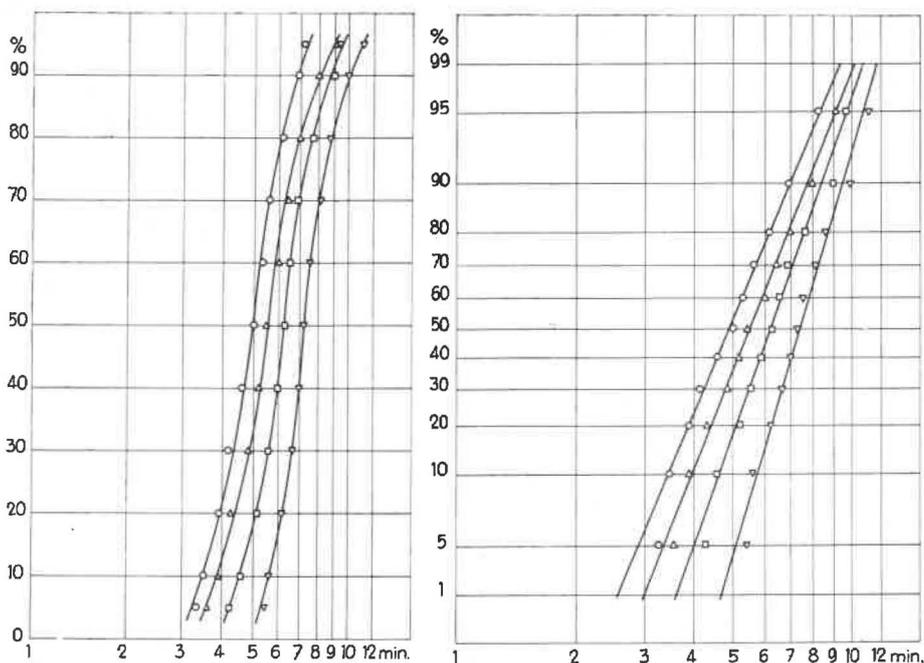


Fig. 11. — Répartition des durées de séchage des boulets.

— malaxage durant 5 min puis passage à la presse, la température de la pâte étant maintenue au voisinage de 80° C.

Les conditions de séchage ont été les mêmes que celles qui ont été réalisées pour les boulets à la lessive sulfiteuse, c'est-à-dire une hauteur de lit de 30 cm, une température voisine de 250° C et un temps de séjour médian de 6 à 10 min.

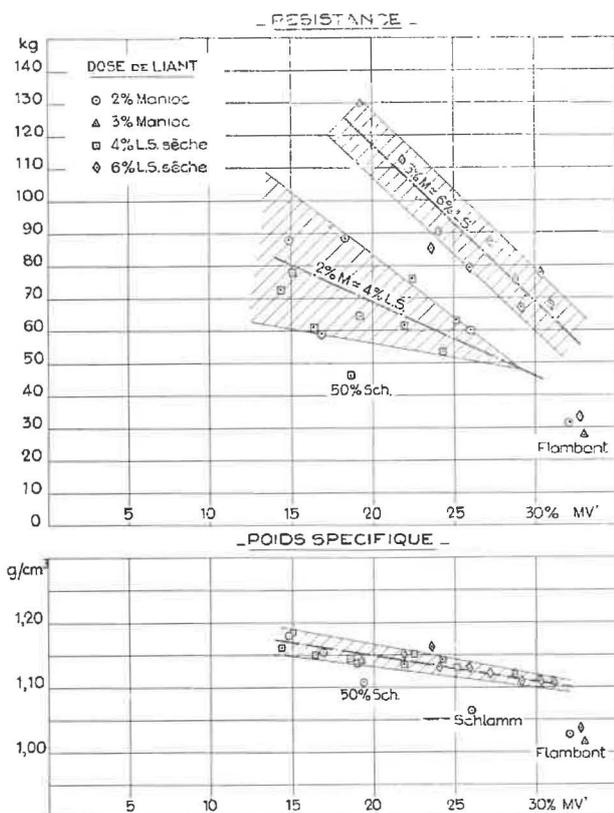


Fig. 12. — Caractéristiques des boulets séchés produits à partir de mélanges de charbons gras et de charbons maigres en fonction de leur indice de M.V. et de la nature du liant.

La figure 12 récapitule les principaux résultats obtenus dans l'étude de l'agglomération au manioc et à la lessive sulfiteuse des mélanges de charbons gras A, gras B et de charbons maigres. Du seul point de vue de la résistance des boulets séchés, 1 % de manioc équivaut sensiblement à 2 % de lessive sulfiteuse sèche.

D'autres avantages sont à l'actif de l'agglomération au manioc : l'introduction du liant sec permet l'utilisation de charbons humides puisqu'une quantité d'eau de l'ordre de 8 % est nécessaire à l'obtention de l'emploi d'amidon.

D'autre part, le malaxage à chaud contribue à diminuer cette teneur en eau et surtout à chasser les gaz adsorbés sur le charbon. Le briquetage en est facilité et des boulets, de très bonne présentation, ont été produits même dans le cas d'utilisation de 100 % de schlamms flottés. Les charbons poreux et très élastiques, tels que les flambants à haut indice de matières volatiles, restent cependant diffi-

cilement briquetables à la presse rotative, même lorsque la dose de liant est augmentée.

### 233. Agglomération à l'urée-formol.

La conduite de l'agglomération à l'urée-formol a été en tous points identique à celle à la lessive sulfiteuse. La température moyenne de séchage a été de 200° C, la durée médiane de séjour ayant oscillé autour de 6 minutes. Les teneurs en urée-formol et en eau de dilution rapportées sur le charbon sec ont été respectivement de 5 et 2 %.

D'excellents résultats ont été obtenus avec un charbon anthraciteux broyé à la granulométrie suivante :

- 9,5 % supérieurs à 4 mm
- 18,5 % compris entre 2 et 4 mm
- 17,5 % compris entre 1 et 2 mm
- 17,5 % compris entre 0,5 et 1 mm
- 20,7 % compris entre 0,2 et 0,5 mm
- 7,3 % compris entre 0,125 et 0,2 mm
- 9,0 % inférieurs à 0,125 mm

Les boulets obtenus ont une résistance de 73 kg et sont insensibles aux intempéries (résistance non modifiée après trempage de 24 heures), mais leur tenue au feu paraît médiocre.

### 234. Agglomération au suprakol C.

Les quelques essais effectués dans l'installation semi-industrielle sur du charbon anthraciteux ont confirmé les résultats obtenus en laboratoire, du point de vue résistance aux chocs et aux intempéries. Ils ont montré cependant que, si la conduite de l'agglomération avec le suprakol C était voisine de celle à la lessive sulfiteuse, elle s'en distinguait par les points suivants :

- Utilisation du liant tel quel à 37 % d'eau sans dilution préalable au malaxage de la pâte. La dose utilisée a été de 7 % (liant tel quel sur charbon sec).
- Possibilité d'utiliser du charbon de granulométrie plus grossière puisque les boulets, après traitement en lit de sable fluidisé, constituent un produit fini. Des résultats satisfaisants ont été obtenus avec un charbon dont l'analyse granulométrique était voisine de celle utilisée dans l'agglomération à l'urée-formol.
- Le temps de traitement en lit fluidisé doit être de 15 minutes environ afin de porter le centre du boulet à la température de réaction nécessaire à la production d'une résine dure et insoluble dans l'eau. La température moyenne d'essai a été de 300° C.

Les caractéristiques des boulets au suprakol C obtenus dans notre installation pilote sont :  
résistance : 93 kg

résistance après 24 h de trempage : 84 kg  
densité : 1,18 g/cm<sup>3</sup>.

Il est à noter que la fluidisation peut être réalisée indifféremment par de l'air ou par des fumées neutres, sans que les résultats en soient affectés.

#### 24. Estimation du prix de revient d'un aggloméré non fumeux.

Des deux liants thermodurcissables expérimentés à Inichar, seul le suprakol C répond à l'ensemble des critères de qualité demandés aux liants non fumeux, avec la restriction cependant que la tenue au feu paraît acceptable. Son emploi n'est conditionné que par le prix de revient des agglomérés finis ; nous allons tâcher de l'établir.

La rentabilité d'un procédé dépend de l'échelle de l'usine. Nous envisageons dans cette étude économique une grosse unité moderne d'une capacité de production de l'ordre de 1.000 t/jour, qui concentre les installations de séchage de charbon, d'agglomération et de traitement thermique des agglomérés.

#### 241. Matières premières.

On peut estimer le prix des fines anthraciteuses à 7 % d'eau et 6 % de cendres à 765 FB/t (\*), soit 822 FB par tonne sèche. Le liant suprakol C à 37 % d'eau est utilisé tel quel à raison de 7 % sur charbon sec. Par grosses quantités, il revient à 4 FB/kg.

#### 242. Investissements.

La continuité de la production dans une usine moderne ne peut se concevoir que si l'usine possède des machines de réserve. Il en résulte que les installations ne fonctionnent que deux postes sur trois, le matériel de réserve étant soumis à l'entretien.

Une fabrique d'agglomérés de 100 t/h, telle que celle qui a été installée au siège Katharina dans la Ruhr, coûte 60 millions de FB pour une production annuelle (350 jours) de  $2/3 \times 24 \times 100 \times 350 = 560.000$  tonnes.

Sur cette base, les investissements à la tonne annuelle pour une usine d'agglomération comprenant le séchage du charbon peuvent se répartir comme indiqué au tableau II.

Les immobilisations propres au traitement thermique des boulets sont également incluses dans ce tableau. Elles ont été déduites de données obtenues de la firme Stein et Roubaix.

(\*) Suivant le barème Cobéchar, le prix des fines anthraciteuses à 7 % d'eau et 10 % de cendres est de 695 FB/t. A ce chiffre il y a lieu d'ajouter un supplément de 2,5 % par % de cendres en moins.

TABLEAU II.  
Investissements en FB par tonne sèche annuelle produite.

	Séchage et agglomération charbon	Four de traitement thermique
Machines et appareils	60	90
Bâtiments, charpentes, installations électriques	30	45
Frais d'études d'architecture et de surveillance des travaux	18	27
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>162</b>

#### 243. Frais de traitement.

Les deux premiers postes du tableau III résultent de données expérimentales relatives aux installations d'agglomération en service dans le district de la Ruhr.

TABLEAU III.  
Frais de traitement en FB par tonne sèche annuelle produite.

Séchage charbon	15
Agglomération	51
Traitement thermique	47
Frais généraux d'usine et d'administration	30
<b>Total</b>	<b>143</b>

Le coût du traitement thermique a été estimé à la suite des essais réalisés à Inichar.

Le quatrième poste du tableau est tout à fait approximatif et dépend dans une large mesure de l'importance de l'usine.

#### 244. Prix de revient.

Le coût total d'un aggloméré non fumeux au suprakol C est détaillé au tableau IV.

TABLEAU IV.  
Prix de revient par tonne sèche d'un aggloméré au suprakol C.

Charbon (960 kg à 6 % Cs)	790
Liant suprakol C (65 kg humide 40 kg sec)	260
Frais de traitement	143
Récupération du capital (10 % des investissements)	27
<b>Total</b>	<b>1.220</b>

La part du liant est largement prépondérante. Il n'en reste pas moins que le boulet au suprakol C est un combustible de choix qui est directement comparable aux calibrés anthraciteux. Le prix de vente actuel de ces charbons montre qu'une grosse usine productrice d'agglomérés d'un prix de revient de 1.220 FB la tonne sèche disposerait d'une marge de bénéfice.

### 3. CONCLUSIONS GENERALES

Au cours de cette communication, nous avons défini les critères de qualité auxquels les agglomérés domestiques doivent se soumettre. Ces conditions sévères sont indispensables pour produire un combustible de choix comparable aux calibrés anthraciteux. Parmi les liants non fumeux examinés, une seule classe peut répondre à tous les desiderata : ce sont les substances dites thermodurcissables qui peuvent durcir au sein même des boulets grâce à un traitement thermique approprié.

Le traitement en lit de sable fluidisé introduit à Inichar constitue un progrès par rapport aux techniques traditionnelles de séchage en fours tunnels. Pour la dessiccation de boulets à la lessive sulfiteuse, le lit fluidisé a comme avantages de réduire

très fort la durée de traitement, d'accroître la résistance des boulets, d'uniformiser la température et d'assurer la sécurité totale vis-à-vis de l'incendie.

L'étude réalisée sur les deux résines plastiques retenues pour l'agglomération des fines anthraciteuses a montré que la technique était également applicable.

L'urée-formol malheureusement ne peut être envisagée industriellement vu son prix actuel de 8 F/kg et la médiocre tenue au feu qu'elle semble conférer aux boulets. Par contre, le suprakol C paraît pouvoir être utilisé avec succès. A la dose de 7 %, il confère aux boulets une complète fumivorité, une résistance voisine de 100 kg, une insensibilité totale aux intempéries et une tenue au feu qui paraît acceptable. L'emploi du lit fluidisé permet de ramener le temps de séchage de 1 h à 1/4 h et de travailler à une température voisine de 300° C sans risque de combustions spontanées. Nous noterons également que, du point de vue hygiène, le suprakol C présente un intérêt marquant par rapport au brai, source de produits cancérigènes.

Le prix élevé du liant constitue l'un des principaux obstacles au développement du procédé ; néanmoins, il ne paraît pas insurmontable pour une usine conçue à une échelle suffisamment large.