

MÉMOIRES  
LA  
Carbonisation à basse température  
EN ANGLETERRE

PAR  
CHARLES DEMEURE  
Ingénieur au Corps des Mines, à Mons.

(Suite) (1)

CHAPITRE III  
Procédés de Carbonisation par chauffage  
externe.

§ I. — FOURS FIXES.

A. *Fours horizontaux.*

Four du « Fuel Research Board ». Ce four a été décrit dans la première partie de ce mémoire.

B. *Fours verticaux.*

1. — **L'usine Illingworth, à Pontypridd.**

Cette usine a été créée par le D<sup>r</sup> S. Roy Illingworth et un groupe d'associés, dans une dépendance des « Tre-forest Gas Works », près de Pontypridd.

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, tome XXVI, 4<sup>e</sup> liv., et tome XXVII, 1<sup>re</sup> liv.

Le procédé Illingworth opère la carbonisation à basse température dans des fours verticaux intermittents à chauffage externe. Ces fours sont du type ordinaire utilisé dans les usines à gaz, avec un perfectionnement qui facilite la transmission de la chaleur au centre de la masse de charbon.

Outre cette amélioration thermique extrêmement importante, le procédé Illingworth présente certaines particularités d'ordre chimique qui constituent l'élément fondamental de son succès. Nous exposerons tout d'abord ces principes, et passerons ensuite à l'étude descriptive du procédé et des perfectionnements thermiques qu'il comporte.

### I. — Principes chimiques du procédé Illingworth.

Ce procédé est basé sur une théorie de la constitution du charbon, qui a été exposée par Jones et Wheeler (1), reprise et appliquée par Illingworth (2), et qui peut être résumée comme il suit:

Si l'on soumet le charbon à l'action successive de certains solvants, on y découvre la présence de quatre espèces de constituants (en faisant abstraction des cendres):

- Constituants  $\alpha$ , insolubles dans la pyridine et le chloroforme;
- Constituants  $\beta$  } solubles dans la pyridine,  
                          } insolubles dans le chloroforme;
- Constituants  $\gamma$ , solubles dans la pyridine et le chloroforme;

(1) JONES and WHEELER: « The Composition of Coal » (1915).

(2) S. ROY ILLINGWORTH: « The Action of Solvents on Coal (Fuel in Science and Practice, June 1922); « Low Temperature Carbonisation of Coal » (Proceedings of the South Wales Institute of Engineers (1922). Researches on the constitution of coal (The Colliery Guardian Co Ltd).

— Constituants ulmiques: ceux qui peuvent être extraits par l'action d'une solution aqueuse de Na OH.

### 1. — Répartition de ces constituants dans les diverses catégories de charbons.

Catégories de charbons (d'après la classification de l'U. S Geological Survey basée sur la valeur du rapport $\frac{C}{H} = \frac{\text{teneur en carbone}}{\text{teneur en hydrogène}}$	Constituants $\alpha$	Constituants $\beta$	Constituants $\gamma$	Constituants ulmiques
Charbons anthraciteux ( $26 < \frac{C}{H} < 30$ ... →)	Grande abondance (quasi-exclu- sivité)	Absence	Absence	Absence
Charbons semi-anthraci- teux (carbonaceux) ( $23 < \frac{C}{H} < 26$ )	Abondance	Traces	Présence en quantité très faible	Absence
Charbons semi- bitumineux ( $20 < \frac{C}{H} < 23$ )	Présence	Présence en quantité relati- vement faible ( $< 5\%$ )	Présence en assez faible quantité	Absence
Charbons bitumineux ( $11,2 < \frac{C}{H} < 20$ )	Présence	Abondance avec teneur maximum dans les charb. où $14 < \frac{C}{H} < 15$	Abondance avec teneur maximum dans les charb. où $17 < \frac{C}{H} < 18$	Présence en faible quant. et seulement si $\frac{C}{H} < 14$
Lignites ( $\leftarrow 9,3 < \frac{C}{H} < 11,2$ )	Présence en quantité relativement faible	Faibles quantités	Faibles quantités	Abondance

### 2. — Composition et propriétés de ces constituants.

— Constituants  $\alpha$ . — Ces éléments proviennent de la décomposition de la cellulose.

— Leur analyse élémentaire est sensiblement celle du charbon dont ils ont été isolés, sauf une teneur légère-

ment plus élevée en  $O_2$ . Leur rapport  $\frac{C}{H}$  est sensiblement le même.

— A la distillation, ils donnent, comme gaz,  $CO$ ,  $CO_2$  et  $H_2$ ; peu de produits liquides. Cette distillation s'opère à une température d'environ  $760^\circ$ .

— Ils ne fondent pas et ne deviennent plastiques à aucune étape de leur carbonisation.

— Comme l'indique le tableau ci-dessus, ils se trouvent surtout dans les charbons anthraciteux et maigres, jusques et y compris les charbons pour générateurs. Ils se rencontrent d'ailleurs dans tous les charbons, mais leur teneur décroît régulièrement avec le rapport  $\frac{C}{H}$ .

— *Constituants  $\beta$*  — Ces éléments proviennent, comme les précédents, de la décomposition de la cellulose.

— Leur teneur en  $O_2$  est beaucoup plus élevée que celle du charbon dont ils ont été extraits : ils comprennent, en effet, la grande masse des composés oxygénés rencontrés dans les charbons bitumineux.

— Par contre, leur teneur en  $C$  et en matières volatiles est moins élevée. Ils contiennent, aussi,  $N_2$  et  $S$ .

— Ils donnent, à la distillation,  $CO$ ,  $CO_2$ , des composés oxygénés (phénols), mais peu d'hydrocarbures. Cette distillation s'opère à des températures variables, mais inférieures à  $500^\circ$ .

— Ils ne fondent pas et ne deviennent plastiques à aucune étape de leur carbonisation.

— Ils se rencontrent, comme l'indique le tableau, dans les charbons à coke et les charbons à gaz moyens. La teneur d'une houille en éléments  $\beta$  croît d'abord à

mesure que décroît le rapport  $\frac{C}{H}$  : elle atteint un maximum pour  $14 < \frac{C}{H} < 15$ , puis décroît ensuite rapidement pour redevenir très faible dans les lignites.

— *Constituants  $\gamma$* . — Ces éléments proviennent de la décomposition des résines.

— Leur teneur en  $H_2$  est beaucoup plus élevée que celle du charbon dont ils proviennent : il en est de même de leur teneur en matières volatiles.

— Leur teneur en  $C$  fixe est moindre.

— A la distillation, ils dégagent une quantité considérable de matières volatiles (plus de 60 % en poids; parfois plus de 85 %) qui correspondent à la grande masse des hydrocarbures dégagés pendant la distillation des charbons bitumineux. Cette distillation s'opère à des températures variables, inférieures à  $500^\circ$ , mais supérieures à celles de décomposition des constituants  $\beta$ .

— *Ils fondent ou deviennent plastiques à des températures inférieures à leur température de décomposition.* Cette température de fusion est généralement comprise entre  $320^\circ$  et  $400^\circ$  — maximum  $450^\circ$ . Cette propriété fait d'eux les « agents de cémentation » ou d'agglutination, dans la cokéfaction des houilles.

— Ils caractérisent, comme l'indique le tableau, les meilleurs charbons à coke et à gaz, qui leur doivent la plupart de leurs propriétés. La teneur d'une houille en éléments  $\gamma$  varie à peu près comme celle en éléments  $\beta$ , avec maximum pour  $17 < \frac{C}{H} < 18$ . Cette valeur de  $\frac{C}{H}$  diffère assez bien de celle qui rend maximum la teneur en

éléments  $\beta$  : il sera donc possible de trouver des charbons très riches en éléments  $\gamma$  (c'est-à-dire, à grand pouvoir cokéfiant) et à teneur notablement plus faible en éléments  $\beta$ . Cette particularité a été utilisée par Illingworth.

— *Constituants ulmiques.* — Ces éléments proviennent, d'après Fischer et Schröder, de la décomposition de la lignine. Ils caractérisent, comme l'indique le tableau, les lignites: on a pu extraire, d'un lignite de Bovey Tracey, 51 % de constituants ulmiques, dont la composition était la suivante:

C	= 63,80 %
H <sub>2</sub>	= 4,23 »
O <sub>2</sub>	= 30,60 »
S	= 1,37 »

— Ils n'ont aucun pouvoir cokéfiant.

*Remarque.* — On peut discuter la valeur du procédé d'analyse par solvants dont nous venons d'exposer les résultats: ces solvants modifient, en effet, la composition et la structure moléculaire des constituants qu'ils permettent d'extraire du charbon. Il n'en est pas moins vrai que les indications fournies par cette analyse sont une base extrêmement féconde pour le procédé Illingworth.

### 3. — Processus du dégagement des matières volatiles contenues dans la houille, au cours de sa carbonisation (d'après Illingworth).

Ce dégagement s'opère, non pas d'une façon continue à mesure que croît la température, mais par étapes et avec deux maxima successifs, qui ont été appelés par Illingworth « points nodaux ».

Le diagramme de la fig. 11 représente la marche de la distillation de divers charbons — c'est-à-dire leur perte de poids par unité de temps — en fonction de la température. On voit que cette perte — ou, ce qui revient au même, le dégagement de matières volatiles — passe par deux maxima :

— Le premier (point nodal inférieur, point I du diagramme) varie avec la nature du charbon : il est, toutefois, toujours inférieur à 500°. Il correspond au dégagement des matières volatiles des constituants  $\beta$  et  $\gamma$  ou des éléments ulmiques. Ce point n'existe donc pas pour l'anthracite, dans lequel ces constituants sont absents. Il se produit à une température d'autant moins élevée, que la teneur en matières volatiles est plus forte.

— Le second (point nodal supérieur, point S du diagramme) est pratiquement constant pour tous les charbons: il se produit à la température d'environ 760° et correspond au dégagement des matières volatiles des constituants  $\alpha$ .

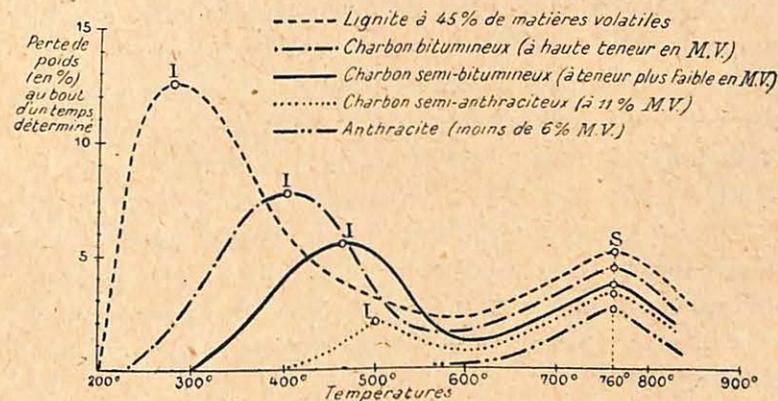


Fig. 11. — Dégagement de matières volatiles dans la distillation de divers charbons, à température croissante.

#### 4. — Gonflement de certains charbons pendant leur carbonisation : origine et remède.

Les considérations qui précèdent permettent d'expliquer comment se produit ce gonflement: il résulte d'un dégagement de matières volatiles, s'opérant *en même temps* que la fusion des constituants  $\gamma$ .

Nous avons vu, en effet, que cette fusion avait pour résultat de former une couche plastique qui cimente les éléments non-fusibles du charbon. Elle se produit toujours à une température inférieure à la température de décomposition des constituants  $\gamma$  ( $< 500^\circ$ ). Mais il peut arriver que cette température de fusion coïncide à peu près avec le « point nodal inférieur » du charbon distillé: il se produira donc, en même temps, un dégagement abondant de gaz, qui agiront au sein de la matière plastique comme de la levure dans une pâte, et provoqueront son gonflement.

Ce gonflement est néfaste, parce qu'il diminue la densité et la compacité du semi-coke produit; et aussi, parce qu'il rend difficile son défournement. Pour y remédier, le D<sup>r</sup> Illingworth a remarqué que ce sont les constituants  $\beta$  qui, se décomposant à des températures inférieures à celles de décomposition des constituants  $\gamma$ , peuvent seuls dégager leurs matières volatiles, en grande abondance, pendant que s'opère la fusion des constituants  $\gamma$ .

Or, il est possible d'éliminer ces constituants  $\beta$ , par un chauffage préalable de la masse, à une température suffisamment élevée pour réaliser leur décomposition, et en même temps suffisamment basse pour éviter la fusion des constituants  $\gamma$ .

Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'atteindre la « température de distillation rapide » des constituants  $\beta$  pour éliminer ceux-ci: on peut, en effet, opérer leur distillation

à une température où celle-ci s'effectue lentement; il suffit d'augmenter en conséquence la *durée* du chauffage préalable. On se borne, d'ailleurs, à éliminer une partie (la moitié environ) des éléments  $\beta$ : le chauffage préalable dure de  $3/4$  d'heure à 1 heure.

Ce « préchauffage » appliqué à des charbons bitumineux qui gonflaient naguère fortement dans les fours, a permis de les carboniser ensuite en un coke dense et compact, présentant même un retrait notable par rapport au volume primitif.

Un autre procédé, basé également sur les considérations théoriques qui précèdent, a été imaginé par Illingworth pour remédier au gonflement. Il consiste à mélanger des charbons à grand pouvoir cokéfiant (c'est-à-dire à haute teneur en constituants  $\gamma$ ), avec des charbons dont le point nodal inférieur est très bas (charbons lignitieux); ou encore, avec des charbons qui n'ont pas de point nodal inférieur (charbons anthraciteux).

On parvient, ainsi, à réaliser la teneur voulue en éléments  $\gamma$  pour que la cimentation du semi-coke puisse se produire. D'autre part, supposons que la fusion de ces éléments se produise vers  $400^\circ$  à  $450^\circ$ , et que le point nodal inférieur du charbon lignitieux ajouté soit à  $300^\circ$ : on voit que les matières volatiles de celui-ci seront dégagées avant la formation de la couche plastique. Si l'on ajoute du charbon anthraciteux, qui n'a pas de point nodal inférieur, le résultat sera obtenu avec encore plus de certitude. Dans l'un et l'autre cas, les constituants  $\gamma$  et  $\beta$  du charbon cokéfiant se trouveront dilués dans une masse d'éléments libérés de leurs matières volatiles: les effets du dégagement de leurs propres matières volatiles seront donc réduits à un minimum.

Comme, d'ailleurs, ce sont les constituants  $\beta$  qui sont le plus néfastes au point de vue du gonflement, on s'effor-

cera de prendre des charbons cokéfiantes dont la teneur en éléments  $\beta$  soit assez réduite, ce qui est possible (voir plus haut).

Le mélange doit avoir une teneur d'au moins 5 % en éléments  $\gamma$  : cette teneur ne doit pas dépasser 10 %. Dans ces conditions, non seulement on évite l'expansion du charbon, mais même on provoque sa contraction, ce qui augmente la capacité du semi-coke et facilite son défournement.

Le choix entre les deux procédés (préchauffage ou mélange) est dicté par des considérations économiques locales. C'est ainsi que, dans le Sud du Pays de Galles, où l'on se procure à bon compte les charbons anthraciteux, le procédé du mélange sera préférable.

## II — Description de l'usine de Pontypridd.

### 1. — Les Fours.

L'installation devant servir à la carbonisation à basse température a été obtenue très simplement, en appropriant une batterie de fours verticaux de l'usine à gaz de Treforest.

Ces fours, de 9 pieds 6 pouces de long  $\times$  14 pouces de large  $\times$  8 pieds de haut (dimensions intérieures des chambres), sont construits en briques réfractaires. Ils sont chauffés, soit à l'aide de gaz de gazogène, soit à l'aide du gaz obtenu par la carbonisation du charbon.

Le chauffage externe présente une infériorité marquée, au point de vue thermique, sur le chauffage interne : lenteur et difficulté de la transmission de la chaleur, à travers les parois réfractaires du four tout d'abord, à travers la masse de charbon ensuite. Il en résulte, en premier lieu, une augmentation de la durée de chauffe, qui se traduit par un accroissement correspondant de la perte

de chaleur par rayonnement ; et, en second lieu, une carbonisation inégale de la masse de charbon (carbonisation trop avancée dans les parties qui touchent aux parois, insuffisante par contre dans les parties centrales).

Afin d'accélérer, et en même temps d'uniformiser la transmission de la chaleur à travers la charge, le D<sup>r</sup> Illingworth a imaginé de disposer, à l'intérieur du four, des pièces de fonte en forme de **H** (fig. 12). Ces pièces permettent de conduire la chaleur jusqu'au centre de la masse : elles permettent, aussi, de diviser la masse en prismes quadrangulaires, qui se carbonisent d'une seule pièce.

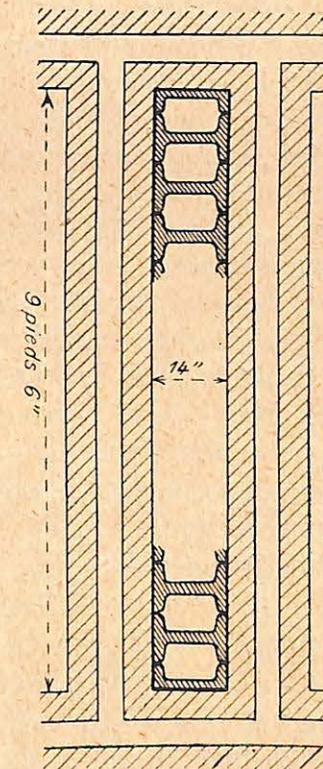


Fig. 12. — Coupe horizontale schématique à travers une batterie de fours Illingworth.

On obtient ainsi de magnifiques blocs de semi-coke, qui ont toute la hauteur du four (8 pieds) et une section transversale quadrangulaire, légèrement inférieure à celle délimitée par les contours intérieurs des pièces de fonte. En effet, comme il a été dit plus haut, on a toujours soin, par un préchauffage ou par un mélange judicieux des charges, d'obtenir un charbon qui se contracte légèrement à la carbonisation. Ce léger retrait rend le défournement du semi-coke extrêmement facile: il suffit d'ouvrir les trappes qui ferment le bas des fours pour que les blocs de semi-coke tombent d'eux-mêmes sur le sol.

D'autre part, le dispositif qui vient d'être décrit (séparation de la masse en blocs prismatiques), joint au retrait du semi-coke, a comme autre avantage de ménager de multiples issues au gaz dégagé par la distillation du charbon. Dans la plupart des systèmes de carbonisation par chauffage externe, le gaz dégagé au sein d'une masse compacte et indivise de charbon s'échappe difficilement: certains inventeurs ont imaginé, pour y remédier, de disposer dans le four des barres de fer verticales, animées d'un mouvement de rotation; mais ces dispositifs, comportant des parties mobiles dans un milieu à haute température, sont peu pratiques. Dans le four Illingworth, les gaz dégagés s'échappent naturellement entre les blocs et les parois verticales des pièces de fonte, et parviennent sans délai à la partie supérieure du four, où ils sont évacués par un collecteur.

Ces divers perfectionnements ont permis de réduire considérablement la durée de la carbonisation: elle est de 5 heures à 5 heures 1/2, alors que la durée normale de carbonisation, à la même température et dans un four en réfractaire de mêmes dimensions mais non pourvu de pièces conductrices en fonte, serait de 28 heures.

Les blocs de semi-coke sont denses et homogènes: ils sont également carbonisés dans toutes leurs parties. Le pourcentage de matières volatiles qu'on y laisse est de 5 à 6 %.

## 2. — Description générale de l'usine.

### a) Mélange et séchage des charbons.

On emploie actuellement, à l'usine de Treforest, la méthode du mélange, vu le faible prix des charbons anthraciteux dans le Sud du Pays de Galles. Ces mélanges s'effectuent suivant les principes exposés plus haut, dans l'appareil rotatif dont il est question ci-après.

Les charbons sont amenés sous forme de « washed slacks » (poussier et fin lavés) contenant 30 % d'eau. Un séchage préalable s'impose: il est obtenu, dans le procédé Illingworth, d'une façon extrêmement simple et économique, qui permet d'utiliser la chaleur sensible du semi-coke défourné (cette méthode n'est d'ailleurs applicable que grâce à la qualité et à la forte dimension du semi-coke Illingworth). Le charbon à sécher est placé dans un mélangeur rotatif, sorte de grand tambour que l'on peut faire tourner à la main. Ce mélangeur est amené sous l'orifice de déchargement d'un four, et on y laisse tomber le ou les blocs de semi-coke, défournés à 500°. On fait alors effectuer au mélangeur quelques révolutions, afin de rendre plus intime le contact entre les blocs chauds de semi-coke, et le charbon humide: les premiers se refroidissent en séchant le second. Lorsque le semi-coke est refroidi, et le charbon séché, on les sépare par un simple passage sur des grilles.

On voit que le mélangeur permet d'effectuer, en même temps, le refroidissement du semi-coke, le mélange des charbons à carboniser, et leur séchage.

b) *Chargement des fours.*

Le charbon séché est élevé à la tête des fours par une chaîne à godets inclinée qui l'amène dans des caisses d'emmagasinage (bunkers) pouvant contenir la quantité nécessaire pour alimenter les fours pendant 24 heures. De ces caisses, le charbon tombe, par l'ouverture de vannes, dans une trémie mobile (hopper) à bec amovible, qui sert au chargement des fours.

Le défournement s'opère par la simple ouverture de trappes: après refroidissement du semi-coke, on le concasse généralement au marteau, eu égard à ses fortes dimensions, afin d'obtenir des morceaux utilisables dans les foyers domestiques. Ce concassage amène un léger déchet de semi-coke fin, qui est réincorporé au charbon dans les mélangeurs et repassé au four.

### III. — Produits obtenus, bilan des matières, bilan thermique, bilan commercial.

L'usine venant à peine d'être mise en exploitation, on n'a pu établir encore aucun de ces bilans.

Le semi-coke obtenu est d'une qualité tout à fait exceptionnelle: dense, dur, homogène, produit en blocs compacts de grandes dimensions, il est d'une vente extrêmement facile et rémunératrice, convenant à la fois pour les foyers ouverts, les poêles à feu continu, le chauffage central, et même comme charbon pour générateurs. Sa teneur en matières volatiles est de 5 à 6 %.

Les rendements en produits divers obtenus au four Illingworth sont approximativement les suivants :

1. Avec un mélange de charbons du pays de Galles, d'une teneur en matières volatiles < 20 % :

Semi-Coke = 83 % ;

Huiles de goudron = 6 à 8 gallons (27 à 36 litres) à la tonne ;

Gaz = 3.500 pieds cubes (99 mètres cubes) à la tonne ;  
pouvoir calorifique = 750 B. T. U. par pied cube  
(6.680 calories par mètre cube) pour le gaz après épur-  
ation et condensation, mais sans passage par des  
scrubbers.

2. Avec un mélange de charbons à gaz à haute teneur  
en matières volatiles :

Semi-coke = 70 % ;

Huiles = 18 gallons (82 litres) à la tonne ;

Gaz = 5.500 pieds cubes (155 mètres cubes) à la tonne.

Le « scrubage » des gaz permettrait d'en extraire  
environ 2 1/2 gallons (11 litres,3) d'hydrocarbures  
légers, utilisables dans les moteurs à explosion.

L'eau ammoniacale recueillie a une teneur trop faible  
en ammoniacque pour que l'on puisse récupérer économi-  
quement ce produit.

*Bilan thermique.* — Malgré le perfectionnement  
apporté par Illingworth aux fours à chauffage externe, il  
est évident que ceux-ci ont un rendement thermique infé-  
rieur aux fours à chauffage interne. Aucun bilan n'a été  
fait sur les fours Illingworth. Nous donnerons plus loin  
le bilan thermique qui a été dressé par le « Fuel Research  
Board » sur les fours à chauffage externe de la « Low  
Temperature Carbonisation Ltd », à Barnsley.

### IV. — Conclusion.

De tous les procédés de carbonisation à basse tempéra-  
ture que j'ai eu l'occasion d'étudier, le procédé Illing-  
worth est certainement, de loin, celui qui donne le meil-  
leur semi-coke. Il semble donc tout indiqué lorsque l'on  
a en vue, principalement, l'obtention de ce produit.

Le gaz Illingworth est très riche (6.680 calories) et se  
prête donc bien à l'enrichissement du gaz de ville, ou au  
transport à longue distance. Ce transport est toutefois  
peu en faveur, à l'heure actuelle, auprès des industriels

gaziers, qui estiment qu'au delà d'un rayon de 20 milles, il est plus économique de transporter du charbon et de le gazéifier sur place. L'avenir décidera si les usines à gaz doivent rester éparpillées comme elles le sont aujourd'hui, ou si la production du gaz pourra être centralisée dans quelques « super-usines » analogues aux super-centrales modernes. Cette centralisation sera certainement favorisée par la fabrication de gaz riche comme celui d'Illingworth.

Je remercie vivement le D<sup>r</sup> Illingworth de l'amabilité avec laquelle il m'a exposé les fondements scientifiques de son procédé si intéressant et de l'obligeance qu'il a mise à me montrer l'usine qu'il a créée.

---

## 2. — Procédé Hird, à Bradford.

---

Ce procédé n'a été appliqué, jusqu'à présent, que dans une petite usine d'expérimentation construite par l'inventeur, M. Hird, dans les dépendances d'un charbonnage voisin de Bradford (Robin Hood Colliery). Des pourparlers sont engagés en vue de l'érection d'une usine de 50 tonnes/jour dans le même district.

### I. — Description du procédé Hird.

L'inventeur a voulu remédier aux inconvénients de la carbonisation par chauffage externe, lesquels sont :

1. *Difficulté de la transmission de la chaleur à travers les parois du four.* — M. Hird a adopté des parois métalliques — solution déjà essayée par la « Low Temperature Carbonisation Ltd » et abandonnée par elle à cause des

inconvénients que présente l'emploi du métal à des températures relativement élevées.

2. *Difficulté du dégagement des gaz produits par la carbonisation, au sein de la masse de charbon.* — Nous avons vu, dans l'étude du procédé Illingworth, que cette difficulté entraîne, si l'on n'y remédie, des conséquences fâcheuses, au triple point de vue de la qualité des huiles recueillies, de la qualité du semi-coke produit et de la facilité de défournement de celui-ci.

— a) *Qualité des huiles recueillies* : Les gaz dégagés pendant le stade de « ramollissement » ou de « fusion pâteuse » du charbon, ne peuvent s'échapper par le centre même de la masse, difficilement pénétrable en raison de sa viscosité : ils tendent dès lors à s'échapper le long des parois, où la résistance à leur passage est moindre, ce qui les met en contact avec les parties les plus chaudes du four et provoque le « cracking » des hydrocarbures qu'ils contiennent. D'où réduction de la teneur des huiles en hydrocarbures, et surtout en hydrocarbures légers.

— b) *Qualité du semi-coke obtenu* : Les gaz se dégageant dans la masse pâteuse boursoufflent celle-ci, et l'on obtient un semi-coke poreux et bulleux.

— c) *Facilité de défournement* : Le phénomène du boursoufflement entraîne le « gonflement » du semi-coke, qui augmente de volume extérieur et tend dès lors à s'accrocher aux parois du four.

Le remède imaginé par M. Hird diffère complètement de celui du D<sup>r</sup> Illingworth, qui consiste, nous l'avons vu, à empêcher ou tout au moins à diminuer le dégagement des gaz pendant la période de ramollissement du charbon.

M. Hird se contente de ménager aux gaz des canaux verticaux d'évacuation au centre de la masse. Les gaz sont, ainsi, tenus écartés des parois, et par là soustraits au cracking. D'autre part, dans un four à chauffage

externe, la chaleur se transmet progressivement de la périphérie au centre de la masse : ce sont donc les couches de charbon situées près des parois qui entreront les premières en fusion, tandis que les couches intérieures, non encore ramollies, resteront momentanément pénétrables par les gaz : or, dans le procédé Hird, ceux-ci sont évacués, non plus le long des parois, mais par des canaux situés au centre de la masse : pour atteindre ces canaux, ils n'auront donc à traverser que des couches non encore visqueuses et dans lesquelles leur passage ne provoquera aucun boursoufflement.

La zone de fusion pâteuse du charbon s'étend progressivement de la périphérie jusqu'au centre, chassant sans

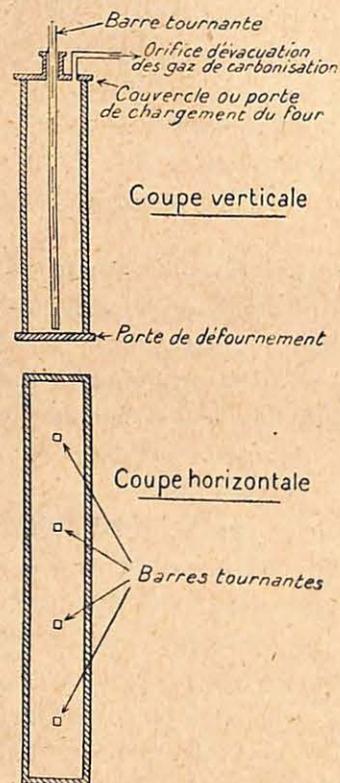


FIG. 13. — Schéma du four Hird.

(Les carnaux de chauffage entourant le four ne sont pas représentés).

cesse devant elle, en quelque sorte, les gaz de distillation qui sont toujours évacués par les canaux centraux. Lorsque la zone de fusion a atteint ces canaux, la carbonisation est considérée comme terminée.

La difficulté consiste à créer et à maintenir ces canaux d'évacuation au centre de la masse. M. Hird y parvient en introduisant dans le four des barres métalliques verticales, de section quadrangulaire ou polygonale, animées d'un mouvement de rotation autour de leurs axes.

La fig. 13 représente schématiquement le four Hird, en coupe verticale et en coupe horizontale.

Le four d'expérimentation de « Robin Hood Colliery » a 14 pieds (4<sup>m</sup>,27) de long, 18 pouces (0<sup>m</sup>,457) de large, et 9 pieds (2<sup>m</sup>,74) de haut : sa capacité est de 5 à 6 tonnes de charbon. La température de carbonisation est de 600° et la durée de 15 à 18 heures — notablement plus longue, on le voit, que dans le procédé Illingworth.

## II. — Matières traitées et produits obtenus.

En l'absence d'essais officiels qui n'ont pu être faits à cause de l'exiguïté de l'usine de Robin Hood Colliery, nous devons nous contenter des résultats moyens obtenus dans cette usine, ainsi que des données fournies par les analyses des produits, effectuées dans des laboratoires indépendants.

On traite du poussier ou du fin (< 1/2'') à coke, lavé, dont la composition est la suivante :

Humidité . . . . .	10 %
Matières volatiles. . . . .	29 %
Carbone fixe . . . . .	54 %
Cendres. . . . .	7 %

Les rendements moyens en produits divers sont donnés ci-après :

1. *Semi-coke* = 14 cwts (712 kgs) par tonne anglaise de charbon.

Le semi-coke Hird est dense, compact et assez dur. Il possède un éclat noirâtre, dû au dépôt d'une grande partie du brai contenu dans les huiles de goudron : ce dépôt s'effectue pendant le passage de ces huiles vaporisées à travers la masse de charbon.

Il se présente en morceaux de 6'' de large × 6'' de haut environ, et de 9'' de long : cette dernière dimension correspond à la demi-largeur du four : on voit donc que les morceaux de semi-coke Hird se présentent, au défournement, comme les morceaux de coke métallurgique au sortir d'un four à coke.

Sa teneur en matières volatiles est de 8 % lorsque la durée de la carbonisation est de 15 heures : elle tombe à 5 % lorsque l'opération a été effectuée pendant 18 heures.

Il résulte d'essais faits par le professeur J.-B. Cohen, de l'Université de Leeds, que l'ignition et la combustibilité de ce semi-coke sont satisfaisantes. Elles sont dues à sa teneur en matières volatiles, et aussi le dépôt de brai qui s'est effectué en lui pendant la carbonisation.

2. *Huile de goudron* (non comprises les essences légères) = 16 gallons (72 litres, 6). Les caractéristiques de l'huile brute sont les suivantes :

— Poids spécifique. . . . .	1,0575.
— Viscosité (essai Redwood n° 1) = 23 secondes à 60° Fahr., 95 secondes à 32° Fahr.	
— Teneur en eau . . . . .	4,25 %.
»  »  naphtaline . . . . .	2,91 %.
»  »  anthracène . . . . .	23,00 %.
»  »  acides-oils . . . . .	25,00 %.
»  »  paraffine. . . . .	0,32 %.
»  »  bitume . . . . .	2,00 %.
»  »  cendres . . . . .	0,04 %.

— Pouvoir calorifique = 15.830 B. T. U. par lb. = 8.800 calories par kg.

Après repos de 7 jours, cette huile ne présente aucun sédiment ni dépôt de matières solides.

D'autre part, l'essai de distillation suivant la méthode d'Engler, effectué par M. Greaves, a donné les résultats suivants :

— Eau ammoniacale . . . . .	1,70 %
— Fraction distillée en dessous de 170° C . . . . .	15,70 »
—   »           > 170° et < 230° C . . . . .	34,00 »
—   »           > 230° et < 270° C . . . . .	16,60 »
—   »           > 270° et < 360° C . . . . .	21,00 »
— Brai. . . . .	11,00 »
	100,00 %

La teneur de l'eau ammoniacale en NH<sub>3</sub> est de 1,0019 %.

On remarquera la proportion élevée des huiles à point d'ébullition relativement bas (due à l'absence de cracking) et la faible teneur en brai (dont la plus grande partie s'est déjà déposée dans le four, à l'intérieur de la masse de semi-coke).

L'huile Hird a une coloration brun noirâtre. Elle peut être utilisée, sans raffinage, comme huile de chauffage, soit pure, soit mélangée en proportion quelconque à l'huile Diesel. Elle peut aussi être employée, comme l'huile de créosote, à l'imprégnation des bois.

3. *Essences légères* (obtenues par « scrubage » du gaz) = 4 gallons (18 litres, 14). Ces essences sont utilisables dans les moteurs à explosions.

4. *Gaz* = 2.000 pieds cubes (56,5 mètres cubes) à 707 B. T. U. par pied cube (6.300 cal./mètre cube).

5. *Sulfate d'ammoniaque* = 14 lbs (6,35 kgs).

### III. — Bilan thermique et bilan commercial.

L'usine d'expérimentation de « Robin Hood Colliery » est de dimensions trop faibles pour qu'un bilan thermique acceptable ait pu être dressé.

Un bilan commercial estimatif, pour une usine de 50 tonnes par jour, analogue à celle qui va être construite aux environs de Bradford, a été établi, en prenant comme base les rendements moyens obtenus à « Robin Hood Colliery ».

#### A. Prix des matières et des produits.

— Le charbon traité est du poussier lavé, à 16 shillings la tonne rendue usine.

— *Semi-coke.* — Deux hypothèses ont été faites par M. Hird, étant donné le marché encore incertain de ce produit. La première, qui revient à admettre les conditions les plus défavorables, consiste à supposer que le semi-coke pourra être vendu, non pas comme combustible domestique, mais seulement comme combustible industriel, et à un prix qui ne dépasserait pas celui du charbon dont il provient, soit 16 shillings la tonne. La seconde admet que le semi-coke sera vendu comme combustible domestique, à un prix analogue à ceux obtenus déjà par d'autres usines de carbonisation à basse température, soit 30 shillings à la tonne. Nous établirons notre bilan en nous basant successivement sur ces deux hypothèses.

— *Huiles de goudron (brutes).* — Nous les comptons à 6 pence le gallon, ce qui est le prix de l'huile de créosote brute.

— *Essence légère.* — Nous prendrons un prix de 9 pence le gallon, inférieur au prix actuel du marché qui est de 1 sh. à 1 sh. 1 d. pour l'essence brute ou le benzol non-rectifié.

— *Sulfate d'ammoniaque.* — Le prix obtenu par les cokeries pour ce produit est de 12 £ la tonne, soit 1 penny, 28 par lb. (prix notablement plus élevé que celui que nous avons admis pour le sulfate d'ammoniaque Maclaurin.

— *Gaz.* — Le prix admis par M. Hird pour le gaz est, par contre, notablement inférieur à celui admis pour le gaz Maclaurin à égalité de pouvoir calorifique: il correspond à 6 pence par 1.000 pieds cubes (soit, pour du gaz à 707 B. T. U. par pied cube, 0d, 85 par « therm »).

#### B. Dépenses de premier établissement et d'exploitation.

1. *Premier établissement.* — Le coût d'une usine pouvant traiter 50 tonnes de charbon par jour (soit 18.250 tonnes par an) est de 25.000 £ tout compris (usine de carbonisation et de récupération des sous-produits, bâtiments et fondations, raccordement au chemin de fer, etc.).

Ce prix correspond à  $\frac{25.000}{50} = 500$  £ par tonne de charbon traitée par jour (prix notablement supérieur à celui d'une usine de carbonisation par chauffage interne); ou à  $\frac{25.000}{18.250} = 1$  £ 7 sh. 4d, 8 par tonne de charbon traité par an. En prenant 12 1/2 % comme taux d'intérêt et d'amortissement de ce capital, on voit que la charge qui en résulte à la tonne de charbon traitée est de

$$\frac{1 \text{ liv. st. } 7 \text{ sh. } 4\text{d}, 8 \times 12,5}{100} = 3 \text{ sh. } 5 \text{ d. } 1.$$

2. *Exploitation.* — Les frais de chauffage (2 cwt de semi-coke par tonne de charbon traitée sont brûlés dans les gazogènes pour produire le gaz de chauffage); la main-d'œuvre (5 hommes et un contremaître); la force

motrice (30 HP), les réparations, l'entretien, les approvisionnements et divers, entraînent une dépense de 4 sh. 6 d. à la tonne de charbon traitée.

Ce chiffre est supérieur à l'estimation moyenne faite par le D<sup>r</sup> Lander pour les frais de carbonisation dans une usine à chauffage externe, estimation qui est de 4 sh. à la tonne (1).

C. *Bilan commercial d'une usine de 50 tonnes par jour, sur la base d'une année de marche.*

1° *Dépenses :*

— Matière : 18.250 tonnes de poussier lavé à 16 sh. la tonne, soit par an . . . . .	14.600 £
— Frais d'exploitation : 4 sh. 6 d. à la tonne de charbon traitée, soit par an . . . . .	4.100 £
— Intérêt et amortissement du capital : 3 sh. 5 d., 1 par tonne de charbon traitée, soit par an . . . . .	3.120 £
Total . . . . .	21.820 £

2° *Recettes :*

— a) En supposant un prix de vente de 16 sh. la tonne pour le semi-coke, on a :

— Semi-coke : 14 cwts par tonne de charbon traitée, soit 12.775 tonnes par an, à 16 sh. la tonne . . . . .	10.220 £
— Huiles de goudron : 16 gallons par tonne de charbon traitée, soit 291.000 gallons par an, à 6 d. le gallon . . . . .	7.275 £
— Essences légères : 4 gallons par tonne de charbon traitée, soit 73.200 gallons par an, à 9 d. le gallon . . . . .	2.737 £

(1) *Low Temperature Carbonisation*, by LANDER and Mc KAY (ouvrage cité), pp. 208 sqq.

— Sulfate d'ammoniaque : 14 lbs par tonne de charbon traitée, soit 114 tonnes par an, à 12 £ la tonne . . . . .	1.368 £
— Gaz : 2.000 pieds cubes par tonne de charbon traitée, soit 36.500.000 pieds cubes par an, à 6 d. les 1.000 pieds cubes . . . . .	914 £
Total . . . . .	22.514 £

— *Bénéfice annuel* : 22.514 — 21.820 = 694 £, soit 2,78 % du capital de 25.000 £ immobilisé dans l'usine.

Ce bénéfice est faible, on le voit : on peut considérer qu'en vendant le semi-coke au prix du charbon dont il provient, l'usine parvient simplement à équilibrer ses recettes et ses dépenses.

b) En supposant un prix de vente de 30 sh. la tonne pour le semi-coke, les recettes deviennent :

— Semi-coke : 12.775 tonnes à 30 shill. la tonne . . . . .	19.162 £
— Autres recettes : comme ci-dessus . . . . .	.....

Le total des recettes passe à . . . . . 31.456 £

— et le *bénéfice annuel* devient 31.456 — 21.820 = 9.636 £, soit 42,5 % du capital immobilisé dans l'usine.

Ces bilans estimatifs montrent que, dans une usine de carbonisation à chauffage externe, l'élément principal du bénéfice est le prix de vente du semi-coke, et que le gaz n'intervient que pour une faible part dans les recettes, contrairement à ce que nous avons pu observer en étudiant les bilans des usines de carbonisation à chauffage interne. En outre, dans le procédé Hird, les huiles et essences légères fournissent une part importante du revenu.

## IV. — Conclusion.

L'avantage du procédé Hird est son rendement élevé en huiles à point d'ébullition relativement bas et en essences légères. Le semi-coke Hird est de bonne qualité et convient pour les usages domestiques et industriels.

Comme inconvénients de ce procédé, nous citerons son coût de premier établissement, qui atteint 500 £ par tonne de charbon traitée par jour; et aussi les perturbations de marche et l'usure rapide qui doivent résulter de l'emploi de fours à parois métalliques, et de pièces métalliques en mouvement dans un milieu à haute température.

3. — L'usine de la « Low Temperature Carbonisation Ltd » à Barnsley.

Il ne m'a pas été donné de voir fonctionner cette usine qui, lors de mon passage à Barnsley, était arrêtée pour cause d'agrandissement. Les résultats obtenus par la « Low Temperature Carbonisation Ltd » ne peuvent cependant être passés sous silence : nettement défavorables au point de vue financier, ils comportent d'utiles enseignements.

Cette Société a été fondée en 1915, par la fusion des petites Compagnies qui exploitaient depuis 1906 les brevets de Parker. Son capital s'élève à 1.275.000 £. Elle possède à Barnsley deux batteries de 32 fours à tubes d'acier verticaux, du système primitif de Parker, pouvant traiter chacune 50 tonnes de charbon par jour, et une batterie de 20 fours à cornues réfractaires verticales, pouvant traiter 36 tonnes de charbon par jour.

L'une des deux batteries Parker a été soumise à l'essai officiel du « Fuel Research Board », les 22, 23 et 24 juillet 1924. Les résultats de cet essai ont été consignés par le D<sup>r</sup> Lander dans son rapport du 25 août 1924 (1) : nous les analyserons brièvement dans les pages qui vont suivre, car c'est la seule épreuve officielle qui ait été faite jusqu'à présent d'une batterie de fours à chauffage externe — la seule qui puisse nous fournir les renseignements contrôlés dont nous aurons besoin pour effectuer, à la fin de ce mémoire, la comparaison entre les deux méthodes de chauffage, externe et interne.

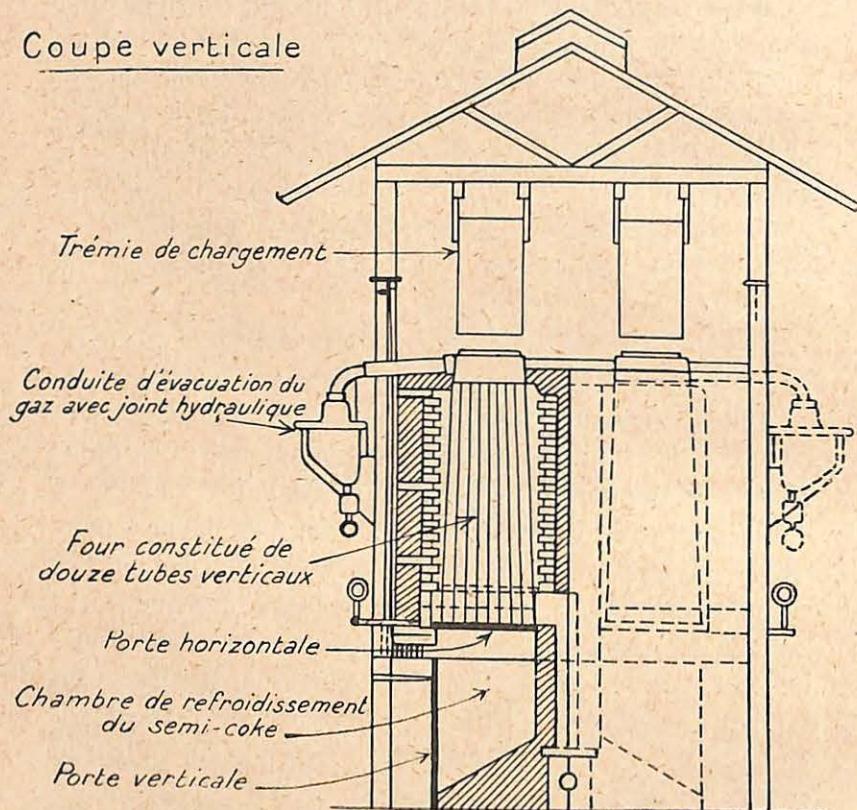
La figure 14 représente schématiquement la batterie de fours soumise à l'essai. Chaque four est constitué de 12 tubes verticaux en acier coulé, enfermés dans une chambre de chauffage en briques réfractaires. Les tubes ont 9 pieds de haut, 4 1/2 pouces de diamètre à la tête et 5 1/2 pouces de diamètre au pied : cet évasement a pour but de faciliter le défournement (2). Le chargement des tubes de chaque four s'opère par le haut, ainsi que l'évacuation des gaz produits par la carbonisation. Le défournement s'opère par le bas : des portes à glissière font tomber le semi-coke dans une chambre de refroidissement, située en dessous des tubes. Une certaine quantité de gaz se dégage encore pendant ce refroidissement et est collectée par une conduite spéciale. Pour extraire le semi-coke de la chambre de refroidissement, il suffit d'ouvrir la porte verticale représentée fig. 14.

(1) Report of Test, by the Director of Fuel Research, on Parker Low Temperature Carbonisation Plant, installed at Barugh, Barnsley, at the Works of Low Temperature Carbonisation Ltd (H. M. Stationery Office, Adastral House, Kingsway, London W. C. 2).

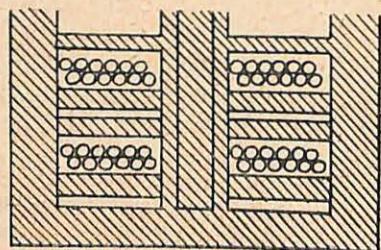
(2) Dans les fours à cornues réfractaires de la nouvelle batterie, on a adopté, pour faciliter le défournement et remédier au gonflement du charbon, le dispositif suivant : deux plaques métalliques sont disposées verticalement au milieu de chaque cornue, et tenues écartées l'une de l'autre au début de la carbonisation : elles sont rapprochées à mesure que celle-ci s'achève, ce qui a pour effet d'augmenter l'espace laissé au charbon et de permettre à celui-ci de gonfler librement sans presser sur les parois.

FIG. 14. — Schéma d'une batterie de 32 fours, système Parker, de la « Low Temperature Carbonisation Ltd » à Barnsley.

Coupe verticale



Coupe horizontale  
à travers une partie  
(quatre fours) de  
la batterie



Les fours sont chauffés à l'aide du gaz de carbonisation, mélangé à du gaz de gazogène. La température de carbonisation est de 650° en moyenne, mais on constata durant l'essai que cette température variait, de 550° pour les cornues les plus éloignées de la cheminée, à 850° pour celles qui en étaient le plus proches. Les températures moyennes dans les « compartiments de combustion » des chambres de chauffage sont de 800° à 1000° : ces compartiments sont séparés des tubes à chauffer par des cloisons en briques percées de trous, dont le but est de soustraire les tubes au contact immédiat des flammes.

I. — **Matières traitées et produits obtenus pendant l'essai.**

A. *Charbon traité*: charbon lavé de dimension  $< 1/2''$ , provenant de la couche Dalton Main, à Rotherham.

Sur les 91,66 tonnes consommées pendant l'essai, les 34 premières avaient la composition suivante :

— Humidité lors du chargement : 4,3 %.  
— Analyse du charbon séché à l'air :

— Humidité. . . . .	2,70 %
— Matières volatiles . . . . .	36,20 %
— Carbone fixe. . . . .	56,10 %
— Cendres . . . . .	5,00 %

Total . . . . . 100,00 %

et les 58 dernières avaient la composition suivante :

— Humidité lors du chargement : 5,72 %.

— Analyse du charbon séché à l'air :

— Humidité. . . . .	2,30 %
— Matières volatiles . . . . .	35,42 %
— Carbone fixe. . . . .	57,84 %
— Cendres . . . . .	4,44 %

Total . . . . . 100,00 %

L'analyse chimique complète d'un échantillon moyen des deux séries a donné les chiffres suivants :

— C	=	80,05 %	Pouvoir calorifique moyen =
— H <sub>2</sub>	=	4,95 »	= 13 640 B. T. U. par lb =
— S	=	1,10 »	= 7.570 calories par kg.
— N <sub>2</sub>	=	1,60 »	
— O <sub>2</sub>	=	7,40 »	
— Cendres	=	4,75 »	

Total . . . = 100,00 %

B. *Semi-coke obtenu* (à l'état sec) = 63,81 tonnes, soit 0<sup>t</sup>,696 par tonne de charbon traitée. L'analyse sommaire d'un échantillon moyen a donné les résultats suivants (semi-coke séché à l'air) :

Humidité . . . . .	3,40 %
Matières volatiles . . . . .	4,20 %
Carbone fixe . . . . .	86,00 %
Cendres . . . . .	6,40 %

Total . . . . . 100,00 %

— Pouvoir calorifique = 13.720 B. T. U. par lb. (7.620 calories par kg.).

— Essai de tamisage (résultats moyens) :

Morceaux > 2" . . . . .	=	55,40 %
» < 2" et > 1" . . . . .	=	39,80 »
» < 1" et > 1/2" . . . . .	=	1,80 »
» < 1/2" et > 1/4" . . . . .	=	1,00 »
» < 1/4" . . . . .	=	2,00 »

Total . . . . . = 100,00 %

La plus grande partie du semi-coke se présente, au défournement, sous forme de morceaux de 2 à 3 pouces de côté. Le diamètre moyen des tubes étant de 5", il semble que la masse de semi-coke y contenue se brise en

pièces triangulaires de 2 à 3 pouces de long, dont chacune représente grossièrement le quart de la section transversale de la masse. Le semi-coke est dur et compact, excepté dans les parties qui se trouvaient au centre des tubes et qui possèdent une structure cellulaire. Il a une couleur gris-sombre, avec un léger éclat argenté. Il supporte le transport sans se détériorer, et brûle aisément dans les foyers ouverts.

C. *Huiles de goudron* (recueillies dans les condenseurs et dans l'extracteur de goudron) = 1.707 gallons d'huile déshydratée brute, soit 18,62 gallons par tonne de charbon traitée. La densité moyenne de ces huiles à 15° C. étant 1,063, ce chiffre correspond à un rendement de 89,85 kgs d'huiles de goudron par tonne de charbon traitée.

— Pouvoir calorifique = 16.540 B. T. U. par lb. (9.180 calories par kg.).

— Essai de distillation fractionnée :

Fractions distillées	Pourcentages	Densité à 15°	Pourcentage d'acides (en volume)
En dessous de 170° C. . . . .	4,70 %	0,855	5,60 %
Entre 170° C et 230° C. . . . .	14,90	0,960	38,00
Entre 230° C et 270° C. . . . .	12,90	0,996	41,00
Entre 270° C et 310° C. . . . .	18,10	1,041	26,00
Brai . . . . .	48,40		
Perte . . . . .	1,00		
Total . . . . .	100,00		

— Le rendement total en acides s'élève à 17,06 % du volume d'huiles, soit à 3,18 gallons par tonne de charbon traitée.

— La fraction d'huile distillée en dessous de 170° correspond à l'essence de moteur: il en est recueilli 1,09 gallon (D = 0,855), ou 4 kgs,23, à l'état brut; soit, après raffinage, 0,812 gallon; et, après nouvelle distillation à 170°, 0,756 gallon (D = 0,828).

— La teneur de l'huile brute en soufre est de 1,20 %.

D. *Essences légères* (recueillies par lavage des gaz à l'huile de créosote dans les scrubbers) = 163 gallons d'essence légère brute, soit 1,78 gallon par tonne de charbon traitée. La densité moyenne de cette essence à 15° C étant 0,809, ce chiffre correspond à un rendement de 6 kgs,5 d'essence légère de scrubbage, par tonne de charbon traitée (1).

Le raffinage (avec distillation à 170°) de cette essence donne finalement 1,39 gallon d'essence raffinée par tonne de charbon traitée (pour l'essence de scrubbage seule). L'essai de distillation fractionnée de cette essence raffinée donne les résultats suivants :

Fraction distillée en dessous de 40° C	néant
» entre 40° et 80°	2,50 %
» entre 80° et 90°	6,40 %
» entre 90° et 100°	15,30 %
» entre 100° et 110°	20,30 %
» entre 110° et 120°	16,50 %
» entre 120° et 130°	14,10 %
» entre 130° et 140°	11,80 %
» entre 140° et 150°	5,50 %
» entre 150° et 160°	3,60 %
» entre 160° et 170°	2,00 %
Total	98,00 %

(1) En y ajoutant le 1,09 gallon, ou 4 kgs,23, d'essence légère (D=0,855) provenant de la distillation des huiles de goudron, on voit que le rendement total de la carbonisation, en essence de moteur (brute), est de 2,87 gallons ou 10 kgs,73 par tonne de charbon traitée (la densité moyenne de cette essence étant de 0,827 à 15° C).

— Pouvoir calorifique de l'essence légère brute = 11.100 calories par kg.

E. *Gaz de carbonisation* (après condensation et scrubbage) = 515.000 pieds cubes; soit, par tonne de charbon traitée, 5.620 pieds cubes à 705 B. T. U. par pied cube, ou 158 mètres cubes à 6.280 calories par mètre cube.

Les résultats moyens de l'analyse de ce gaz sont les suivants :

1. *Éléments combustibles :*

H <sub>2</sub>	= 37,2 %
C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	= 39,6 »
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	= 4,3 »
CO.	= 6,1 »
Total	= 87,2 %

2. *Éléments non-combustibles :*

CO <sub>2</sub>	= 4,0 %
O <sub>2</sub>	= 1,0 »
N <sub>2</sub>	= 7,8 »
Total	= 12,8 %

Densité par rapport à l'air = 0,56.

F. *Liqueur ammoniacale* = 2.382 gallons, soit 26 gallons (118 litres) par tonne de charbon traitée.

— Teneur en NH<sub>3</sub> (en poids) = 1,33 %.

— Rendement en (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> par tonne de charbon traitée = 13,55 lbs = 6,15 kgs.

## II. — Bilan thermique.

Nous pouvons, d'après ces résultats, dresser le bilan thermique de l'usine, sur la base d'une tonne de charbon traitée.

A. *Chaleurs apportées :*

— Charbon traité = 1 tonne à 7.570 calories par kg. . . . .	7.570.000 cal.
— Gaz de gazogène (ainsi que nous l'avons vu, les fours sont chauffés au moyen de la totalité du gaz de carbonisation, additionné d'une certaine quantité — 84,7 mètres cubes par tonne de charbon traitée — de gaz de gazogène). Soit 84,7 mètres cubes de gaz à 928 calories par mètre cube . . .	78.600 cal.
<b>Total des chaleurs apportées . . .</b>	<b>7.648.600 cal.</b>

B. *Chaleurs contenues dans les produits recueillis :*

— Semi-coke : 0 <sup>t</sup> ,696 à 7.620 calories par kg. . . . .	5.300.000 cal.
— Huiles de goudron brutes, recueillies dans les condenseurs et dans l'extracteur = 89,85 kgs à 9.180 calories par kg. . . . .	824.000 cal.
— Essence légère, recueillie dans les scrubbers = 6 kgs,50 à 11.100 calories par kg. . . . .	72.100 cal.
— Gaz = 158 mètres cubes à 6.280 calories par mètre cube, soit en tout 993.000 calories : mais ce gaz est employé, dans sa totalité, à chauffer les fours : la quantité de chaleur correspondante ne peut donc figurer ni à l'actif ni au passif du bilan.	
<b>Total des chaleurs recueillies . . .</b>	<b>6.196.100 cal.</b>

$$\begin{array}{l} \text{Rendement thermique} \\ \text{de l'usine} \end{array} \left\{ = \frac{6.196.100}{7.648.600} = 81\% \right.$$

*Pertes de calories* = 19 %, consistant principalement en pertes par rayonnement extérieur des fours.

III. — **Bilan commercial et conclusion.**

En l'absence de données positives, nous nous abstenons de dresser ici ce bilan, mais nous l'établirons plus loin d'une manière approximative, en nous basant sur les rendements de l'essai du « Fuel Research Board » et sur certaines hypothèses relatives aux dépenses et aux prix, faites par le D<sup>r</sup> Lander. Nous nous bornerons à noter dès maintenant les points suivants, qui résultent du rapport d'épreuve :

Les produits vendables (semi-coke, huiles et essence) sont de bonne qualité, et les rendements sont satisfaisants. Mais le rendement thermique de l'usine est faible (81 %). D'autre part, la main-d'œuvre est importante, notamment pour le défournement : ce point est signalé par le D<sup>r</sup> Lander (1), qui estime toutefois que des améliorations pourraient être apportées par l'emploi de procédés mécaniques. Enfin, les dépenses d'entretien et de réparations doivent être élevées, ainsi qu'en témoignent un certain nombre d'« accrocs » survenus au cours de l'épreuve officielle ; les frais de premier établissement, et, par suite, d'intérêt et d'amortissement, sont considérables, comme d'ailleurs dans toutes les usines de carbonisation par chauffage externe.

(1) *Report of Test, etc.* (opuscule cité), p. 18.

## § II. FOURS ROTATIFS.

## L'usine Hutchins, à Middlewich.

Cette usine a été créée, dans un but d'expérimentation, par la « Fusion Corporation, Ltd », détentrice des brevets de M. Stainer Hutchins. Installée dans les dépendances de l'« Electro-Bleach and By-Products, Ltd », à Cledford Bridge, près de Middlewich, elle comprend un four rotatif, d'une capacité de 5 tonnes par jour, une installation de récupération des huiles, et un laboratoire avec fours de modèle réduit pour les essais à petite échelle.

## 1. — Description du procédé.

Le four Hutchins est un four rotatif à chauffage externe. Il présente certaines particularités qui tiennent au fait qu'il n'a pas été établi spécialement pour la carbonisation du charbon, mais plutôt, d'une manière générale, pour le traitement de toutes matières qui passent par un état de fusion pâteuse. C'est ainsi qu'il a été employé, avec succès, pour l'extraction des huiles contenues dans les schistes pétrolifères ou dans la torbanite, dans le « cannel coal », dans le lignite, dans la tourbe, voire même dans la sciure de bois; pour la dessiccation de matières comme le carbonate de chaux, etc.

Le four Hutchins se construit en deux modèles : à tube simple ou à tube double. Le modèle à tube simple, employé actuellement à l'usine d'expérimentation de Middlewich, est représenté schématiquement par la figure 15.

La matière à traiter est chargée dans une trémie A, qui la fait tomber dans un cylindre, dans lequel se déplace une valve automatique d'enfournement B, avec fermeture étanche à l'air. Cette valve permet d'introduire la matière

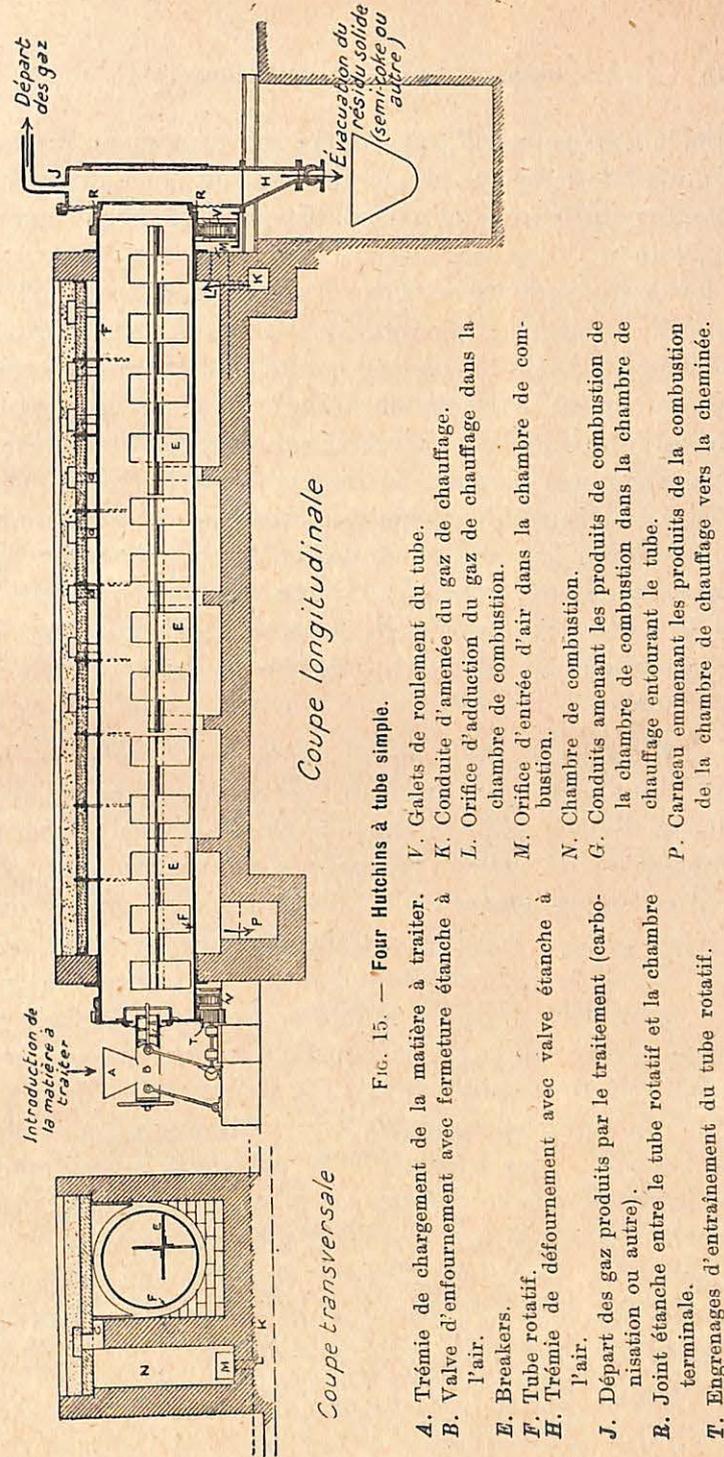


FIG. 15. — Four Hutchins à tube simple.

- A. Trémie de chargement de la matière à traiter.  
 B. Valve d'enfournement avec fermeture étanche à l'air.  
 E. Breakers.  
 F. Tube rotatif.  
 H. Trémie de défournement avec valve étanche à l'air.  
 J. Départ des gaz produits par le traitement (carbonisation ou autre).  
 K. Joint étanche entre le tube rotatif et la chambre terminale.  
 T. Engrenages d'entraînement du tube rotatif.
- V. Galets de roulement du tube.  
 K. Conduite d'amenée du gaz de chauffage.  
 L. Orifice d'aduction du gaz de chauffage dans la chambre de combustion.  
 M. Orifice d'entrée d'air dans la chambre de combustion.  
 N. Chambre de combustion.  
 G. Conduits amenant les produits de combustion de la chambre de combustion dans la chambre de chauffage entourant le tube.  
 P. Carneau emmenant les produits de la combustion de la chambre de chauffage vers la cheminée.

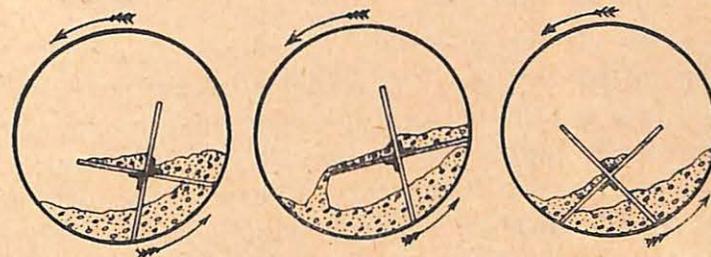
dans le tube rotatif *F*, où s'opère son traitement (carbonisation, dessiccation, etc.): ce tube, en acier doux, est chauffé extérieurement par un dispositif que nous verrons plus loin.

La matière progresse à travers le tube, depuis l'extrémité d'enfournement jusqu'à celle de défournement. A l'extrémité de défournement existe une chambre terminale, en acier; cette chambre fixe est raccordée au tube par un joint étanche à l'air, qui sera décrit ci-après. Dans cette chambre viennent se rassembler à la fois les gaz produits et le résidu solide du traitement: les premiers sont évacués par une conduite qui les emmène vers les appareils de condensation et de lavage; quant au résidu solide (semi-coke ou autre), il tombe, par une trémie de défournement avec valve étanche à l'air, dans des wagonnets.

— *Progression de la matière à travers le tube.* — Le tube étant horizontal, et aucun moyen mécanique de propulsion de la matière n'étant employé, il semble que la progression de celle-ci ne peut s'opérer. En fait, elle s'opère naturellement, à la condition de ne traiter que des matières en poudre ou tout au moins en grains très fins. En effet, cette masse pulvérulente, placée dans un tube horizontal animé de rotation, tend, par suite de sa finesse et de l'agitation à laquelle elle est soumise, à y prendre un niveau horizontal. Or, à l'extrémité de chargement, de nouvelles quantités de matière sont sans cesse introduites, ce qui a pour effet de relever le niveau en ce point: tandis que le défournement continu qui s'opère à l'autre extrémité a pour effet d'abaisser le niveau en ce second point. La faible différence de niveau qui en résulte entre les deux extrémités de la masse contenue dans le tube suffit pour assurer sa progression lente et régulière.

— *Breakers.* — Afin de maintenir la matière à l'état pulvérulent, et, en même temps, de l'agiter et de la remuer sans cesse, M. Hutchins a imaginé de placer dans le four des croisillons mobiles *E*, formés de quatre palettes d'acier montées à angle droit sur un arbre. Le diamètre extérieur de ces croisillons est égal aux  $\frac{2}{3}$  de celui du tube dans lequel ils se trouvent: ils ne sont fixés en aucun point et laissés absolument libres de se mouvoir, sous l'effet de la gravité, à mesure que le tube tourne; ils reposent simplement, par deux de leurs palettes, sur la paroi interne de celui-ci; quand l'une de ces palettes vient à « perdre pied » par suite de l'élévation de son point d'appui, le croisillon retombe sur une autre palette. Ces chutes continuelles ont pour effet, non seulement de remuer la masse et de la maintenir à l'état pulvérulent, mais encore de détruire les croûtes qui tendent à se former sur les parois internes du tube, lorsque la matière entre en fusion pâteuse. C'est cette action brisante qui a fait donner aux croisillons le nom de « breakers ». La fig. 16 montre le mouvement de ces engins au cours d'un révolution du tube.

FIG. 16. — Mouvement d'un « breaker » pendant la rotation du tube.



— *Chauffage du tube.* — Il s'effectue au moyen de gaz de gazogène, amené par la conduite *K* et l'orifice *L* dans une chambre de combustion *N* où il est brûlé. Les produits

de cette combustion passent, par des conduits *G*, dans la chambre de chauffage, séparée de la chambre de combustion par une cloison en briques : ils y chauffent le tube rotatif *F*, puis sont évacués vers la cheminée par le carneau *P*. On remarquera que l'orifice d'adduction *L* du gaz de chauffage est situé du côté « défournement », tandis que le carneau d'évacuation *P* des produits de la combustion est situé du côté « enfournement » : la circulation des gaz chauffants et celle des matières à chauffer se font donc en contre-courant, suivant le principe du chauffage méthodique.

— *Joint étanche entre le tube rotatif et la chambre terminale.* — La chambre terminale est fermée, du côté du four, par un diaphragme en tôle d'acier mince cannelée : l'extrémité de défournement du tube passe dans ce diaphragme. Le joint est assuré de la façon suivante : le tube porte, à l'extérieur, un rebord garni d'asbeste; le diaphragme porte un anneau d'acier doux *R*, de même diamètre; des ressorts à lames appuient constamment l'anneau *R* du diaphragme (grâce à la flexibilité de celui-ci) contre le rebord en asbeste du tube.

Un joint semblable existe entre le tube rotatif et le cylindre d'enfournement.

— *Four Hutchins à tube double.* — Ce modèle est moins intéressant que le précédent. La matière, après avoir passé par un tube central analogue à celui qui vient d'être décrit, tombe dans un tube extérieur, concentrique au précédent : elle revient donc à l'extrémité de chargement en cheminant dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes; elle est, ainsi, soumise plus longtemps à l'action de la chaleur. Le défournement s'opère du même côté que le chargement.

## II. — Matières traitées et produits obtenus.

Le procédé Hutchins permet de carboniser les matières les plus diverses et, notamment, les poussières non lavées à haute teneur en cendres. Lorsqu'il s'agit de traiter des matières en morceaux, un broyage préalable, aux dimensions maxima de 3/8'', s'impose : aussi est-il préférable de réserver ce procédé pour le traitement des charbons pulvérulents. Des centaines d'essais ont été faits à l'usine de Middlewich; nous prendrons, à titre d'exemples, les deux suivants :

### 1. Carbonisation d'un poussier gras non-lavé.

— Analyse du poussier :

Humidité. . . . .	5,89 %
Matières volatiles . . . .	27,38 %
Carbone fixe. . . . .	37,01 %
Cendres . . . . .	29,72 %
	<hr/>
Total . . . . .	100,00 %

— Rendement en semi-coke = 650 kgs par tonne de poussier.

Analyse :

Humidité. . . . .	0,00 =
Matières volatiles . . . .	10,02 %
Carbone fixe. . . . .	37,01 %
Cendres . . . . .	52,97 %
	<hr/>
Total . . . . .	100,00 %

Ce « semi-coke » est difficilement utilisable, on le voit, même comme combustible pulvérisé.

— Rendement en huiles = 20 gallons d'huile déshydratée brute par tonne de poussier.

— Rendement en gaz = 3.500 pieds cubes à 700 B. T. U. par pied cube, par tonne de poussier.

2. Carbonisation d'un « cannel coal » à haute teneur en cendres.

— Analyse du charbon :

Humidité. . . . .	2,17 %
Matières volatiles . . . .	36,77 %
Carbone fixe. . . . .	43,53 %
Cendres . . . . .	17,53 %

Total . . . . 100,00 %

— Rendement en semi-coke = 600 kgs par tonne de charbon.

Analyse :

Humidité. . . . .	0,00 %
Matières volatiles . . . .	8,99 %
Carbone fixe. . . . .	68,98 %
Cendres . . . . .	22,03 %

Total . . . . 100,00 %

— Rendement en huiles = 55,5 gallons d'huile déshydratée brute par tonne de charbon « cannel coal ».

— Rendement en gaz = 2.500 pieds cubes, à 700 B.T.U. par pied cube, par tonne de « cannel coal ».

### III. — Bilan thermique et bilan commercial.

Le bilan thermique du four de Middlewich n'a pas été établi : vu les faibles dimensions de ce four, la perte de chaleur par rayonnement, par unité de matière traitée, est trop considérable pour que l'on puisse dresser un bilan applicable à un grand four industriel.

En ce qui concerne le bilan commercial, ce travail a été fait, pour une usine de 100 tonnes par jour, comprenant quatre fours Hutchins, en prenant diverses hypothèses : traitement de « cannel coal », traitement de poussier gras non-lavé, traitement de schiste bitumineux, etc. Je crois inutile de reproduire ici ces bilans, à cause de leur caractère hypothétique, mais les tiens volontiers à la disposition de ceux de mes lecteurs que la chose intéresse.

### IV. — Conclusion.

Le procédé Hutchins se distingue par son aptitude à traiter les charbons de faible valeur, par son rendement élevé en huiles et par la richesse de son gaz, produit, il est vrai, en faibles quantités.

Son inconvénient est qu'il donne un semi-coke pulvérulent, quelle que soit d'ailleurs la qualité du charbon traité. Ce semi-coke n'est guère utilisable que comme combustible pulvérisé, à moins de le briqueter avec du brai ; mais cette solution, outre qu'elle est coûteuse, offre cet inconvénient, déjà signalé, de réintroduire dans le combustible les éléments générateurs de fumée, qu'on avait réussi à éliminer par la carbonisation à basse température.

Comme autres inconvénients, je citerai ceux inhérents à l'emploi de fours métalliques, ainsi que ceux inhérents à la méthode de chauffage externe, où les pertes de chaleur par rayonnement extérieur sont toujours plus élevées.

Le four Hutchins a donné d'excellents résultats pour l'extraction des huiles contenues dans les schistes pétrolifères.

Je crois qu'une application intéressante de ce procédé — application qui, à ma connaissance, n'a pas encore été tenté et qui est d'ailleurs étrangère à la carbonisation à

basse température — *pourrait être faite en vue de résoudre le difficile problème de la dessiccation des schlamms.* Cette dessiccation est entravée par le fait que le schlamm s'agglutine sans cesse en grumeaux dont le centre reste impénétrable à l'action de la chaleur. En traitant les schlamms dans un four Hutchins, ces grumeaux seraient désintégrés par l'action des breakers, et la dessiccation pourrait être poursuivie sans difficulté jusqu'au bout. On pourrait d'ailleurs effectuer cette opération à une température assez basse pour éviter la carbonisation, et conserver ainsi au schlamm une teneur en matières volatiles suffisante pour permettre son emploi comme combustible pulvérisé, malgré sa forte proportion de cendres, sous les chaudières des supercentrales modernes.

Je remercie vivement la direction de la « Fusion Corporation, Ltd » et notamment son Manager, M. Pasley, de l'amabilité qu'ils ont mise à me documenter sur leur procédé et à me faire visiter leurs installations.

---

#### CHAPITRE IV

#### Conclusions.

---

Nous venons de passer en revue les principales usines anglaises de carbonisation à basse température, par chauffage interne ou par chauffage externe. Nous sommes maintenant en possession des éléments qui doivent nous permettre d'établir un parallèle entre ces deux méthodes de chauffage.

Afin de rendre cette comparaison aussi « parlante » que possible, nous ferons choix de deux usines, représenta-

tives de l'un et de l'autre procédés, et nous mettrons en regard, sous forme de tableaux, leurs bilans des matières, leurs bilans thermiques et leurs bilans commerciaux. Les deux usines qui paraissent se prêter le mieux à cette comparaison sont celle de la « Midland Coal Products, Ltd » et celle de la « Low Temperature Carbonisation Ltd », qui toutes deux ont subi l'essai officiel du « Fuel Research Board » et qui nous offrent, par conséquent, des renseignements contrôlés, pouvant servir de base à des bilans comparables.

Ces bilans ont été établis sur la base d'une tonne de charbon traitée. Certaines modifications, mentionnées en note, ont été apportées aux prix unitaires, afin de placer les deux usines dans des conditions de marche équivalentes. Enfin, les unités continentales ont été employées pour exprimer toutes les grandeurs, à l'exception des prix, qui sont établis en monnaie anglaise, en raison de la fixité de cette monnaie par rapport à l'or.

#### I. — Bilan des matières.

Le rendement en semi-coke est presque le double dans la carbonisation par chauffage externe : par contre, le rendement en gaz est beaucoup moindre, même si l'on tient compte de la différence de richesse en éléments combustibles. Le rendement global en goudrons et essences paraît le même ; mais le goudron obtenu par chauffage interne contient une énorme proportion de brai et d'huiles à point d'ébullition élevé, tandis que les produits liquides de la carbonisation par chauffage externe sont riches en essences légères et en huiles à point d'ébullition relativement bas, ainsi que le montrent les analyses données au cours de ce mémoire.

## II. — Bilan thermique.

La comparaison de ces bilans donne lieu, tout d'abord, à des considérations analogues à celles qui viennent d'être formulées. *Dans la carbonisation par chauffage externe, c'est le semi-coke qui constitue le poste important de la recette en calories; dans la carbonisation par chauffage interne, c'est le gaz, quoiqu'il ait un pouvoir calorifique près de quatre fois moindre que celui du gaz obtenu par chauffage externe.*

Mais une conclusion plus importante se dégage de la mise en regard des bilans thermiques. *Le rendement thermique de la carbonisation par chauffage interne est notablement supérieur à celui de la carbonisation par chauffage externe.* Cette supériorité tient à des raisons qui ont été exposées, déjà, en divers endroits de ce mémoire, et que nous résumons brièvement ici :

1° Dans la carbonisation par chauffage interne, la transmission de la chaleur, des gaz chauffants aux matières à carboniser, s'opère directement, par contact ou par pénétration, et non par l'intermédiaire d'une paroi.

2° Le chauffage y est naturellement « méthodique », c'est-à-dire que la circulation des gaz chauffants et des matières à carboniser s'effectue en contre-courant.

3° La carbonisation s'y opère d'une façon continue, sans que l'on doive jamais arrêter le four ni pour les chargements de matières, ni pour les déchargements de produits. Elle s'effectue dans des fours de grande capacité, au lieu que les dimensions d'un four à chauffage externe sont forcément limitées par la difficulté de transmission de la chaleur au centre de la masse.

4° La déperdition de chaleur par les parois du four dans l'air ambiant y est réduite au minimum. Le chauffage s'opère, en effet, à l'intérieur même du four, où l'on ne

doit réaliser qu'une température égale à celle requise pour la carbonisation. Par contre, dans le procédé par chauffage externe, il s'effectue à l'aide de carneaux chauffants, placés à l'extérieur du four, et où il faut réaliser une température notablement supérieure à celle requise pour la carbonisation qui s'opère à l'intérieur de l'enceinte qu'ils doivent chauffer. Cette température plus élevée entraînera une plus grande déperdition de calories dans l'air ambiant, à supposer même que l'on puisse entourer les carneaux chauffants d'un massif réfractaire aussi épais que celui qui entoure un four à chauffage interne.

## III. — Bilan commercial.

*Ici encore, le poste important des recettes est le semi-coke dans le cas du chauffage externe, et le gaz dans le cas du chauffage interne. Et, derechef, la supériorité du chauffage interne s'affirme manifeste, dans le domaine essentiel des résultats bénéficiaires.*

Il faut, évidemment, se garder d'attribuer une valeur absolue à un bilan commercial de procédé, et je crois inutile d'insister sur ce point auprès de ceux de mes lecteurs qui sont en contact avec les réalités industrielles. Mais ces bilans conservent, néanmoins, une valeur comparative, lorsqu'ils ont été établis suivant une méthode semblable et en tablant sur des conditions de marché analogues.

La supériorité commerciale du chauffage interne est due, principalement, à l'abaissement du prix de revient, qui résulte lui-même, ainsi qu'on le voit aux bilans :

- 1° De la possibilité, offerte par ce procédé, de traiter des charbons de moindre valeur marchande;
- 2° De la réduction de la main-d'œuvre, la carbonisation s'effectuant dans des unités de grande capacité, et

## Midland Coal Products Ltd, à Netherfield

*Bilan des matières, bilan thermique et bilan commercial, par tonne de charbon traitée*

	1. Bilan des matières	2. Bilan Thermique			3. Bilan Commercial		
		Pouvoirs calorifiques unitaires	Chaleurs contenues dans les éléments	Chaleurs totales apportée et recueillie	Prix unitaires	Sommes dépensées et reçues	Dépense et recette totales par tonne
<b>Matières employées et Dépenses</b>							
— Charbon traité (ovoïdes)	1 tonne	6 660 cal. pr kg	6.660.000 cal.	6.660.000 cal.	16 sh. 4 d. la tonne (1)	L. shill. pence 0 16 4	L. shill. pence
— Main-d'œuvre, force motrice, entretien, traitements du personnel, divers	—	—	—	—	3 sh. 8 d. par tonne traitée (2)	0 3 8	1 2 3
— Intérêt et amortissement du capital de premier établissement	Le coût de premier établissement, d'après des données fournies plus haut, est de 11 sh. 6 d. par tonne de charbon traitée par an.				20 % (3)	0 2 3	
<b>Produits obtenus et Recettes</b>							
— Semi-coke	381 kg	6.840 cal. pr kg	2.605.000 cal.	6.174.000 cal.	30 sh. la tonne (4)	0 11 5	1 16 10
— Goudron { Huiles	35,9 kg	8.875 cal. pr kg	881.000 »		6 L. la tonne (1d,44 le Kg)	0 4 4	
— Brai	63,5 kg	—	—		50 sh. la tonne (0d,6 le kg.)	0 3 3	
— Gaz	1508 m <sup>3</sup>	1.785 cal. pr m <sup>3</sup>	2.688.000 »		2 d. le therm. (0d,08 les 1.000 calories)	0 17 10	
— Sulfate d'ammoniaque.	1,42 kg	—	—	—	12 L. la tonne	0 0 4	non récupérable

— Rendement thermique =  $\frac{6.174.000}{6.660.000} = 93 \%$ .

— Bénéfice à la tonne = 1 £ 16 sh. 10 d. — 1 £ 2 sh. 3 d. = 14 sh. 7 d., soit 126 % du capital de premier établissement. Ce bénéfice suppose que tout le gaz soit vendu; cette condition n'est pas réalisée actuellement à la Midland Coal Products qui n'en vend qu'une faible partie et parvient simplement, par suite, à équilibrer ses recettes et ses dépenses.

(1) Prix d'une tonne d'ovoïdes fabriqués avec du poussier à 12 sh. la tonne et 8 % de brai à 50 sh.

(2) Les divers éléments de cette somme ont été calculés précédemment, sur la base d'une semaine de travail.

(3) Le taux d'intérêt et d'amortissement a été pris égal à 20 % (au lieu de 10 % choisi précédemment) pour se conformer au taux fixé par le Dr Lander pour les usines à chauffage externe; mais ce taux est trop élevé pour une usine à chauffage interne où l'usure est beaucoup moindre.

(4) Prix inférieur à celui obtenu couramment par la « Midland Coal Products Ltd » (35 sh. la tonne) et que nous avons admis dans le premier bilan que nous avons établi pour cette usine.

## Low Temperature Carbonisation Ltd, à Barnsley

*Bilan des matières, bilan thermique et bilan commercial, par tonne de charbon traitée*

	1. Bilan des matières	2. Bilan Thermique			3. Bilan Commercial		
		Pouvoirs calorifiques unitaires	Chaleurs contenues dans les éléments	Chaleurs totales apportée et recueillie	Prix unitaires	Sommes dépensées et reçues	Dépense et recette totales par tonne
<b>Matières employées et Dépenses</b>							
— Charbon traité	1 tonne	7.570 cal. pr kg	7.570.000 cal.	7.648.600 cal.	1 L. la tonne	L. shill. pence 1 0 0	L. shill. pence
— Gaz de gazogène	84,7 m <sup>3</sup>	928 cal. pr m <sup>3</sup>	78.600 cal.		4 d. par tonne traitée	0 0 4	
— Main-d'œuvre, force motrice, entretien, traitements du personnel, divers	—	—	—	—	3 sh. 8 d. par tonne traitée (1)	0 3 8	1 8
— Intérêt et amortissement du capital de premier établissement	Le coût de premier établissement est estimé, d'après le Dr Lander, à 1 liv. st. par tonne de charbon traitée par an.				20 %	0 4 0	
<b>Produits obtenus et Recettes</b>							
— Semi-coke	695 kg	7.620 cal. pr kg	5.300.000 cal.	6.196.000 cal.	30 sh. la tonne	1 0 10	1 11 3
— Goudron recueilli dans les condenseurs et l'extracteur	89,85 kg	9 180 cal. pr kg	824.000 cal.		6 d. le gall. (1 d. 24 le kg)	0 9 3	
— Essence légère recueillie dans les scrubbers	6,50 kg	11.100 cal. pr kg	72.100 cal.		9 d. le gall. (2 d. 45 le kg)	0 1 2	
— Gaz de carbonisation	158 m <sup>3</sup>	6.280 cal. pr kg	993.000 cal.		4 d. le therm. (0 d. 159 les 1.000 calories) (2)	0 13 2	
— Sulfate d'ammoniaque.	6,15 kg	—	—	—	12 L. la tonne	0 1 8	difficilement récupérable

— Rendement thermique =  $\frac{6.196.100}{7.648.600} = 81 \%$ .

— Bénéfice à la tonne = 1 £ 11 sh. 3 d. — 1 £ 8 sh. 0 d. = 3 sh. 3 d., soit 15 % du capital de premier établissement. Si l'on vendait le gaz riche de carbonisation à 4 d. le therm., et que l'on employait, pour chauffer les fours, exclusivement du gaz de gazogène, il faudrait porter aux dépenses 4 shillings de plus pour la fabrication de ce gaz, et aux recettes 13 shillings 2 d. de plus pour la vente du gaz de carbonisation, ce qui porterait le bénéfice à 12 sh. 5 d., soit 60 % du capital de premier établissement.

1) On a pris le même chiffre que pour l'usine de la « Midland Coal Products Ltd », quoique les dépenses de main-d'œuvre et de réparations doivent être ici plus considérables.

2) Ce prix résulte d'une estimation du Dr Lander (*Low Temperature Carbonisation*, p. 266). On remarquera qu'il est double du prix obtenu par la « Midland Coal Products Ltd » pour une même quantité de calories. Cela tient au fait que, dans ce dernier gaz, les calories sont à l'état « dilué » et ont, par conséquent, une moindre valeur marchande. Le gaz de la « Midland Coal Products Ltd » ne peut être vendu que comme gaz de fours; le gaz de la « Low Temperature Carbonisation Ltd » peut être vendu comme agent d'enrichissement du gaz de ville.

de la diminution des frais de réparation et d'entretien de ces unités plus robustes et dont les parois sont soumises à des températures moins élevées.

Ces avantages n'apparaissent pas aux bilans que nous étudions en ce moment et dans lesquels, faute de renseignements précis, nous avons admis des frais de main-d'œuvre et de réparation égaux pour les deux procédés;

- 3° Du moindre coût de premier établissement, toujours grâce à l'emploi d'unités de grande capacité et de construction plus simple que celle de fours à chauffage externe.

Elle paraît due, également, à une augmentation du chiffre des recettes, qui provient du fait que, dans le procédé de la « Midland Coal Products Ltd », tout le gaz produit est vendable, la chaleur nécessaire à la carbonisation étant fournie par la combustion d'une partie du semi-coke, brûlant à l'intérieur du four. Nous négligerons cet avantage, qui n'est pas obtenu dans tous les procédés de carbonisation par chauffage interne, et qui d'ailleurs peut être obtenu également dans les procédés par chauffage externe, ainsi que le montre la remarque faite à la suite du bilan de la « Low Temperature Carbonisation Ltd »: il suffit de chauffer les fours au moyen de gaz pauvre, ce qui rend le gaz de carbonisation disponible pour la vente.

*Les considérations qui viennent d'être formulées peuvent être résumées comme il suit :*

I. Dans la carbonisation par chauffage externe, c'est le semi-coke qui doit « payer ». Dans la carbonisation par chauffage interne (tout au moins dans le procédé de la « Midland Coal Products Ltd »), c'est le gaz.

II. La supériorité, au point de vue thermique comme au point de vue commercial, paraît appartenir au chauffage interne; mais le succès de cette méthode est lié à la vente de quantités énormes d'un gaz à faible pouvoir calorifique, et qui ne peut, par conséquent, être utilisé que par des consommateurs industriels, immédiatement voisins de l'usine de carbonisation (1).

On devra donc donner la préférence à la méthode du chauffage interne, lorsque l'on pourra établir l'usine dans un centre de consommation de gaz industriel. Dans les autres cas, on choisira la méthode du chauffage externe, qui conduit à un prix de revient plus élevé, mais qui donne des produits plus facilement vendables et transportables au loin.

\*\*\*

Parmi les procédés de carbonisation à basse température qui ont été décrits au cours de ce mémoire, il en est plusieurs qui pourraient être appliqués au traitement des charbons flénus ou des charbons de Campine. Les indications relatives à ces procédés et aux conditions dans lesquelles ils peuvent être employés avec avantage ont été données, et je me tiens, d'ailleurs, à la disposition de ceux de mes lecteurs que la chose intéresse, pour les compléter en tant que de besoin. Il est certain, d'autre part, que les industriels de ce pays qui voudraient utiliser l'un ou l'autre des systèmes de carbonisation actuellement pratiqués en Angleterre, bénéficieraient d'une mise au point qui, dans certains cas, est déjà très avancée. La question

(1) Cet inconvénient du chauffage interne n'est, d'ailleurs, pas inéluctable. Nous avons vu qu'il peut être écarté par l'emploi du procédé de la « Sensible Heat Distillation Ltd », variante « d ».

qui se pose est de savoir s'il est possible de leur promettre le succès commercial.

Si l'on veut répondre à cette question en se basant sur les résultats financiers obtenus, jusqu'à ce jour, par les entreprises anglaises de carbonisation à basse température, une telle promesse ne peut être faite. Il convient de remarquer, toutefois, que certaines de ces entreprises sont établies sur des bases saines, et que, travaillant actuellement dans des conditions défavorables, elles parviennent cependant à équilibrer les recettes et les dépenses. Ces sociétés ont, devant elles, de sérieuses perspectives d'avenir — d'un avenir qui est peut-être proche, et qui est celui de la carbonisation à basse température elle-même.

Or, celui-ci paraît assuré, parce qu'il répond à un double besoin. Besoin des consommateurs, qui demandent, de plus en plus, des combustibles appropriés à certains usages spéciaux, inconnus autrefois : combustibles liquides, combustibles solides sans fumée... lesquels existent dans la nature, sous forme de pétroles, d'anthracites..., mais en quantités limitées, et qui seront bientôt insuffisantes pour satisfaire aux exigences croissantes d'un confort qui se vulgarise de plus en plus. Besoin des producteurs, qui parviennent de moins en moins à trouver l'écoulement de la houille brute qu'ils vendaient autrefois : forcés déjà, à l'heure actuelle, de lui faire subir un *trriage physique*, ils se verront obligés, sous peu, de la soumettre également à un *trriage chimique*, de manière à en retirer les produits multiples qu'elle contient, et à vendre séparément ces produits, solides, liquides et gazeux, comme combustibles « finis » ou comme matières de fabrication.

La carbonisation à basse température est le *trriage chimique* de la houille. Et c'est la raison pour laquelle on

peut lui faire confiance, encore qu'elle soit moins riche, à l'heure actuelle, en résultats acquis qu'en perspectives d'avenir.

---

## ERRATA

---

— Tome XXVI (1925), 4<sup>me</sup> livraison, p. 1259, ligne 7 :

$$\text{Au lieu de : } \frac{1840 \times 92}{8} = 16 \text{ tonnes, lire : } \frac{1840 \times 8}{92} = 160 \text{ tonnes.}$$

— Même page, ligne 17 :

$$\text{Au lieu de : 6 liv. st. la tonne, lire : 8 liv. st. la tonne.}$$

— Tome XXVII (1926), 1<sup>re</sup> livraison, p. 65, ligne 6/7 :

$$\text{Au lieu de : 40 à 90 tours/minute, lire : 40 à 90 tours/heure.}$$


---