

MÉMOIRES

La Carbonisation à basse température par chauffage externe ou par chauffage interne et le procédé Zuyderhoudt

PAR

CHARLES DEMEURE

Ingénieur au Corps des Mines, -
Chargé de Cours à l'Université de Louvain.

§ I. — Considérations générales sur les méthodes de carbonisation par chauffage externe ou par chauffage interne.

Au cours d'une étude, publiée dernièrement dans cette Revue (1), nous avons eu l'occasion d'établir un parallèle entre les procédés de carbonisation à basse température par chauffage externe, et ceux par chauffage interne.

Les premiers, qui traitent la matière à carboniser dans des cornues chauffées extérieurement, donnent en général des produits de meilleure qualité que les seconds, qui font cheminer la matière dans le four lui-même, en contact direct avec les gaz chauffants. Le semi-coke obtenu par chauffage externe se présente sous forme de blocs denses et compacts, que l'on peut concasser en morceaux

(1) « La carbonisation à basse température en Angleterre », par CHARLES DEMEURE (*Annales des Mines de Belgique*, tome XXVI [1925], 4^e liv., et tome XXVII [1926], 1^{re} et 2^e liv.),

solides, supportant aisément le transport. Les huiles recueillies sont relativement riches en hydrocarbures à bas point d'ébullition, lorsque l'on prend les précautions nécessaires pour éviter le cracking. Enfin, le gaz de carbonisation a un pouvoir calorifique beaucoup plus élevé, n'étant pas dilué, comme dans les procédés par chauffage interne, dans la masse des gaz chauffants.

Ces avantages sont contre-balancés par un prix de revient plus élevé, dû en grande partie à un bilan calorifique défectueux. Le rendement thermique des procédés de carbonisation par chauffage externe ne dépasse guère 81 à 83 %, tandis que les procédés par chauffage interne permettent d'obtenir des rendements de 93 à 94 %. Nous avons analysé les causes de cette différence de rendement : la principale est que le chauffage interne, qu'il soit pratiqué dans un four fixe du type haut-fourneau, ou dans un four rotatif du type four à ciment, est naturellement « méthodique » : c'est-à-dire, que les matières à carboniser et les gaz chauffants y cheminent tous deux en contre-courant. Cette méthodicit   a paru jusqu'ici impossible à réaliser dans un four à chauffage externe, où les matières sont nécessairement immobilisées dans des cornues.

Une seconde infériorité thermique du chauffage externe est sa discontinuité : il doit être interrompu pour permettre le chargement et le déchargement des cornues, au lieu que, dans le chauffage interne, enfournement et défournement se font d'une manière continue, sans arrêter le chauffage et sans altérer le régime des températures du four.

Cette discontinuité nécessite des précautions minutieuses pour assurer le chauffage progressif des cornues, dont dépend la qualité des produits. Elle entraîne, malgré tout, des variations de température préjudiciables à la bonne

conservation du four, et qui ont même obligé, dans la plupart des cas, à remplacer les cornues métalliques par des cornues en matières réfractaires; ces dernières étant moins bonnes conductrices de la chaleur, il en résulte une nouvelle cause de diminution du rendement thermique.

Enfin, les dépenses de réparation et d'entretien d'un four de carbonisation à chauffage externe sont plus élevées, le four fatiguant davantage en raison des variations de température dont nous venons de parler.

Ces divers inconvénients font qu'au total le rendement commercial des procédés de carbonisation par chauffage externe est nettement inférieur à celui des procédés par chauffage interne, ainsi qu'il ressort des tableaux que nous avons établis « in fine » de notre pr  c  dent mémoire.

Nous avons donc été amené à donner la préférence au chauffage interne, en ayant soin toutefois de faire remarquer que la qualité inférieure de ses produits, surtout solides et gazeux (semi-coke généralement friable ou pulvérulent, gaz à faible pouvoir calorifique) ne permet son emploi qu'en des usines situées dans le voisinage immédiat de gros consommateurs de ces produits difficilement vendables et transportables au loin.

Nous avons eu l'occasion de développer ce point de vue dans une communication, faite le 30 novembre 1926 à la Société Belge des Ingénieurs et des Industriels : nous nous sommes efforcé d'y déterminer les limites qu'il convient d'assigner aux applications de la carbonisation à basse température par chauffage interne : et nous avons reconnu que ces installations ne peuvent être établies avec des chances sérieuses de succès commercial que comme annexes, par exemple, d'une supercentrale moderne, pouvant consommer sur place, pour le chauffage de ses chaudières, le semi-coke pulvérisé et le gaz à faible pouvoir calorifique; ou encore, comme dépendances d'un

charbonnage produisant de grandes quantités de poussier à haute teneur en matières volatiles, et pouvant consommer lui-même, pour l'alimentation de ses divers services, une partie tout au moins du gaz produit par la carbonisation de ce poussier.

Cette sujétion de voisinage limite d'une manière assez gênante le champ d'application de la carbonisation à basse température; et l'on voit de suite l'intérêt que présenterait un procédé qui, combinant les avantages du chauffage externe quant à la qualité des produits, et ceux du chauffage interne quant au bas prix de revient, permettrait par là l'érection d'usines autonomes, soustraites à de telles dépendances.

Pareille combinaison d'avantages est, d'ailleurs, d'autant plus désirable que la carbonisation à basse température n'est pas, comme le croient certains enthousiastes, une sorte de Pactole, mais bien une entreprise industrielle, à marge bénéficiaire limitée, et qui ne peut « payer » que si l'on prend soin de disposer favorablement tous les éléments qui peuvent influencer le prix de vente, en même temps que ceux qui commandent le prix de revient. L'éminent spécialiste anglais dont le nom fait autorité en ces matières — le D^r Lander, Directeur du Fuel Research Board — attirait déjà, en 1924, l'attention sur ce point (1) : selon lui, les produits de la carbonisation à basse température ne pourront concurrencer avec succès les combustibles naturels déjà existants, que grâce à des avantages de qualité et de bon marché obtenus moyennant une organisation technique et commerciale parfaitement étudiée, et une direction habile.

(1) « Low Temperature Carbonisation », by LANDER and Mc KAY, pp. 264 et suivantes (London, Ernest Benn Ltd, 8, Bouverie Street).

Nous avons essayé, par les considérations qui précèdent, de mettre en lumière l'intérêt que présenterait une réunion des avantages du chauffage externe et de ceux du chauffage interne, dans un même procédé de carbonisation à basse température.

La solution générale de ce problème, lorsque l'on veut conserver le principe du chauffage externe (carbonisation en cornues), est la suivante: placer les cornues elles-mêmes dans un four continu et méthodique.

Plusieurs types de four, répondant à cette spécification, existent à l'heure actuelle et sont employés dans d'autres industries. Nous nous bornerons à en citer deux, qui nous paraissent se prêter particulièrement à une application à la carbonisation à basse température par chauffage externe : le four tunnel, et le four annulaire à chambres, appelé aussi four Hoffmann.

Dans le four tunnel, les cornues, placées sur des trucks, avanceraient réellement en sens inverse des gaz chauffants, qui leur céderaient, par suite, la presque totalité de leur chaleur sensible; et le refroidissement des cornues après achèvement de la carbonisation serait utilisé dans le four lui-même, pour le réchauffage de l'air comburant. On obtiendrait ainsi une récupération satisfaisante des chaleurs sensibles, lesquelles sont habituellement perdues, dans les procédés de carbonisation par chauffage externe; et, en même temps, une remarquable progressivité du chauffage, avantageuse au point de vue de la qualité des produits et de la conservation du four.

Récupération et progressivité sont obtenues de même, si l'on place les cornues dans les chambres d'un four annulaire; sans doute, les cornues resteront immobiles dans ces chambres, mais le déplacement périodique de la chambre de combustion revient à les faire avancer en sens

inverse des gaz chauffants, et l'on peut ainsi considérer le four annulaire comme un four continu et méthodique.

C'est à cette seconde solution que s'est arrêté un inventeur hollandais, M. Zuyderhoudt. Le procédé qu'il a imaginé — et qu'il était occupé à mettre au point, dans une usine d'essai, à Droogenbosch près Bruxelles, quand une mort prématurée est venue le surprendre — nous a paru intéressant dans son principe. D'autre part, le four de Droogenbosch a été soumis, en octobre et décembre 1926, à une série d'essais, effectués par des personnalités en vue du monde scientifique belge et français, et qui permettent d'établir avec précision le rendement du procédé en produits divers.

Nous avons pensé, dans ces conditions, qu'une étude approfondie du procédé Zuyderhoudt pourrait intéresser les lecteurs de cette Revue. Afin de faciliter les comparaisons éventuelles, nous conserverons, dans l'exposé qui va suivre, l'ordre que nous avons adopté pour l'étude des procédés anglais de carbonisation à basse température.

§ II. — Description du procédé Zuyderhoudt.

Le caractère essentiel de ce procédé réside dans l'application du four annulaire à la carbonisation à basse température par chauffage externe.

La carbonisation s'effectue dans des cornues métalliques verticales, en acier extra-doux, placées dans une série de chambres disposées en circuit méthodique pour la récupération des chaleurs.

A. Description générale du four Zuyderhoudt.

Ce four est représenté par les fig. 1, 2 et 3. La fig. 1 en est une coupe verticale longitudinale, la fig. 2 une coupe horizontale et la fig. 3 une coupe verticale transversale.

Les chambres de carbonisation, au nombre de huit, sont désignées par les chiffres 4A, 4B, 4C..., 4G, 4H; elles sont construites en maçonnerie réfractaire ordinaire (silico-alumineuse), et surélevées au-dessus du sol, au moyen de colonnes en maçonnerie **2**, d'une hauteur au moins égale à celle des cornues verticales contenues dans les chambres. Ce dispositif a pour but de permettre le défournement facile, par le bas, des blocs de semi-coke produits dans les cornues.

Chacune de ces chambres contient une batterie de cornues verticales **5** en acier extra-doux, au nombre de 16 par chambre (ce nombre a été porté à 32 dans le four actuel de Droogenbosch). La carbonisation du charbon s'opère dans ces cornues, qui seront décrites plus loin; elles sont munies, à leur sommet, de tubulures horizontales **34** pour l'évacuation des gaz de distillation: ces tubulures débouchent dans des conduits **35**, raccordés eux-mêmes à des collecteurs **36**, lesquels rassemblent les gaz provenant d'une même batterie de cornues avant de les envoyer aux appareils de condensation des goudrons.

Le chauffage de ces cornues s'effectue au moyen de brûleurs à gaz **11**, placés dans la sole des chambres et alimentés de gaz combustible par des tuyaux **12**, branchés sur la conduite d'amenée **13**. Dans le four de Droogenbosch, ces brûleurs sont disposés horizontalement à travers les parois latérales des chambres, à 35 centimètres au-dessus de la sole, et leur nombre a été réduit à **4** seulement par chambre.

On ne fait fonctionner, à la fois, que les brûleurs d'une seule chambre, laquelle est en chauffage direct : le chauffage des autres chambres s'opère par les gaz brûlés issus de la première, suivant le dispositif que nous allons décrire.

A cet effet, les chambres voisines sont reliées entre elles par des conduits **6** (fig. 1 et 2), munis de valves à joint de sable **7**, que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté au moyen de tiges **8**, manœuvrables par le bas. La fig. 4 est une coupe agrandie à travers un de ces conduits.

D'autre part, chaque chambre peut être raccordée à la cheminée par un conduit **16** (fig. 3), muni d'une valve **17** et branché sur un canal horizontal **15** établi dans la paroi médiane du four pour servir à l'évacuation des fumées vers l'extérieur. Un second canal horizontal **19**, parallèle au précédent, mais sans communication avec l'extérieur, est relié à chaque chambre par des conduits **20** munis de valves **21** : il permet de mettre éventuellement en communication deux chambres non voisines et, par suite, d'isoler du circuit une ou plusieurs chambres en vue de réparations.

B. Fonctionnement du four.

Le fonctionnement du four, en marche continue, s'établit comme suit. L'une des chambres — par exemple, la chambre **4E** — est en chauffage direct : ses brûleurs sont réglés de manière que la température de 450° à 500° (température de fin de carbonisation) soit atteinte dans les cornues qu'elle contient. Les gaz brûlés, après avoir chauffé les cornues placées dans cette chambre, pénètrent dans la chambre voisine **4F** dont ils chauffent les cornues à une température d'environ 300° , puis dans la chambre **4G** dont ils chauffent les cornues à 200° , et enfin dans **4H**

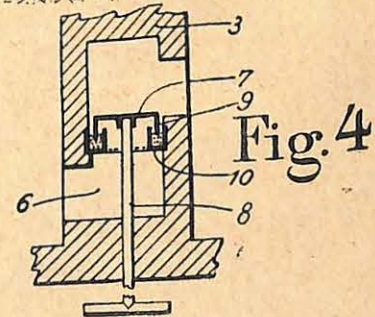
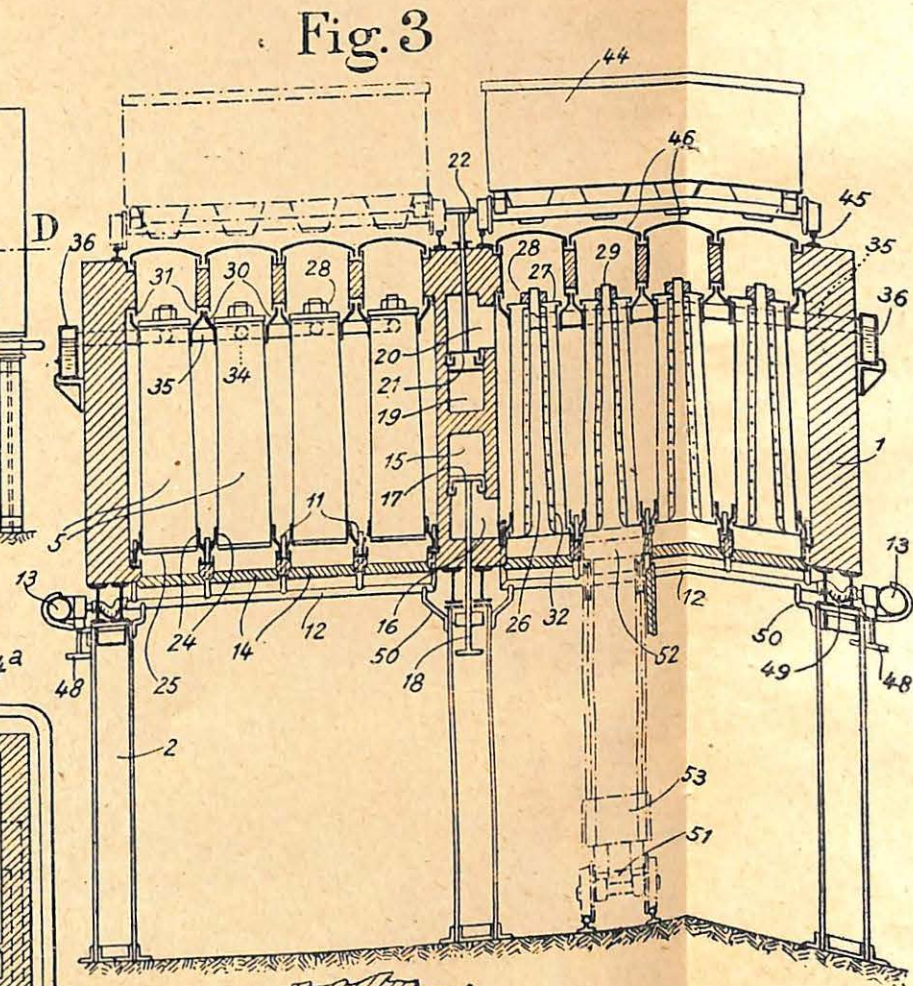
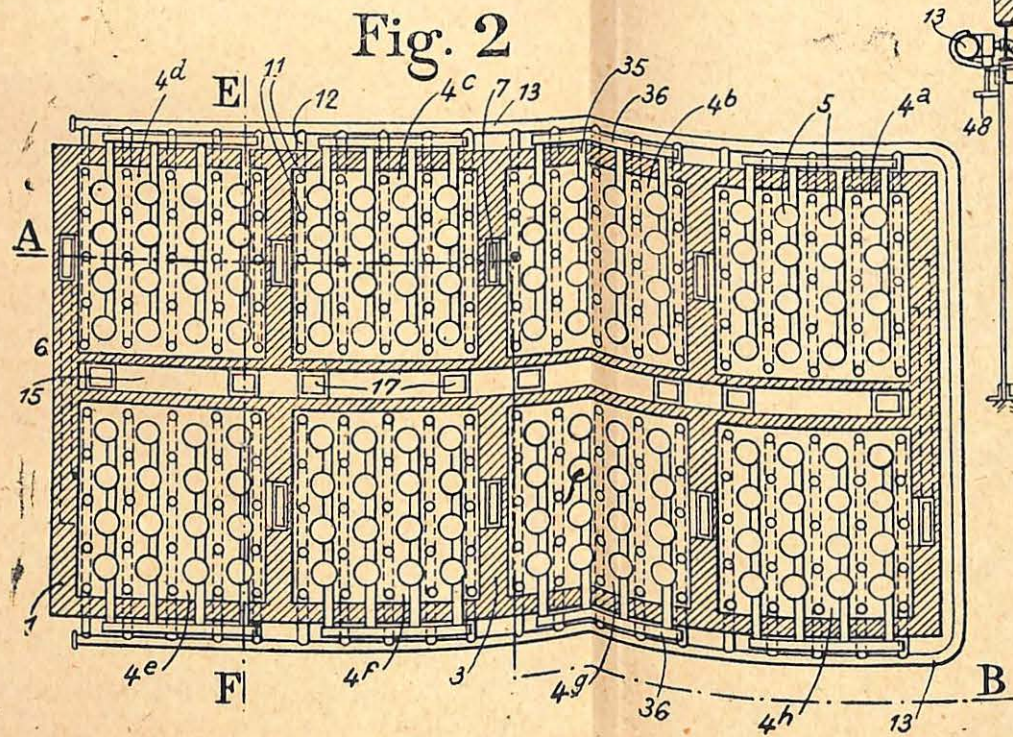
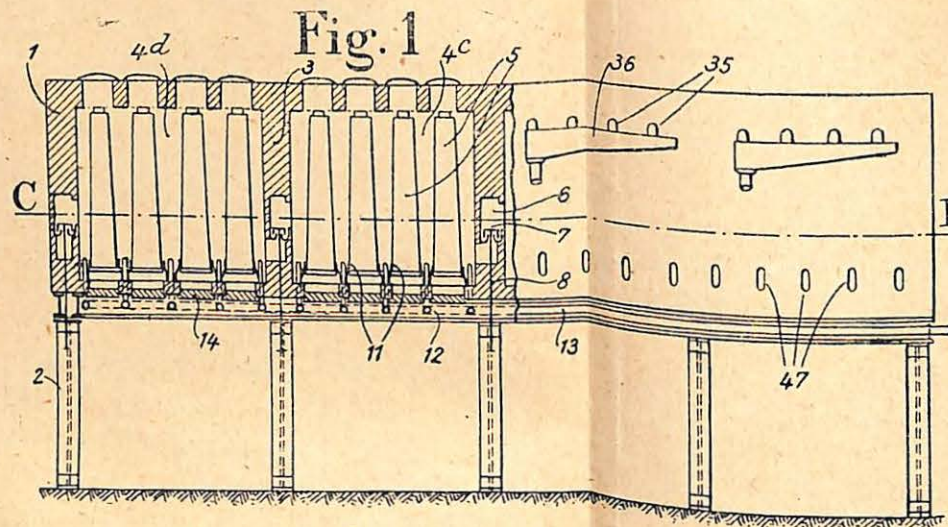
dont ils chauffent les cornues à 100° ; ils sont alors dirigés vers la cheminée par un conduit **16** et le canal **15**.

Pendant ce temps, la seconde moitié du four (chambres **4A**, **4B**, **4C**, **4D**, contenant des cornues où la carbonisation du charbon est achevée) est en refroidissement : ce refroidissement est utilisé pour réchauffer l'air comburant, servant à la combustion du gaz de chauffage dans la chambre **4E**. L'air comburant, introduit dans le four par la sole de la chambre **4A** dont les portes de défournement sont ouvertes, traverse successivement les chambres **4A**, **4B**, **4C** et **4D** et se réchauffe au contact des cornues à températures croissantes qu'il y rencontre : il pénètre ensuite dans la chambre **4E**.

Lorsque la carbonisation est achevée dans la chambre **4E** — ce dont on s'aperçoit à la couleur des huiles qui en proviennent — on éteint les brûleurs de cette chambre, qui entre en refroidissement ; on défourne le semi-coke des cornues **4A** et on recharge ces cornues de charbon à carboniser ; on allume les brûleurs de la chambre **4F**, qui devient la chambre de chauffage direct ou de fin de carbonisation ; et le même cycle se poursuit, grâce à l'ouverture ou à la fermeture des vannes appropriées, avec cette fois les chambres **4F**, **4G**, **4H**, **4A** en carbonisation, et les chambres **4E**, **4D**, **4C**, **4B** en refroidissement.

C. Particularités intéressantes de cette méthode de chauffage.

L'intérêt essentiel de cette méthode de chauffage est — nous y reviendrons plus loin — d'ordre thermique : améliorer le rendement calorifique du four. D'autres avantages lui sont cependant inhérents, et notamment la progressivité du chauffage, laquelle offre un double intérêt :



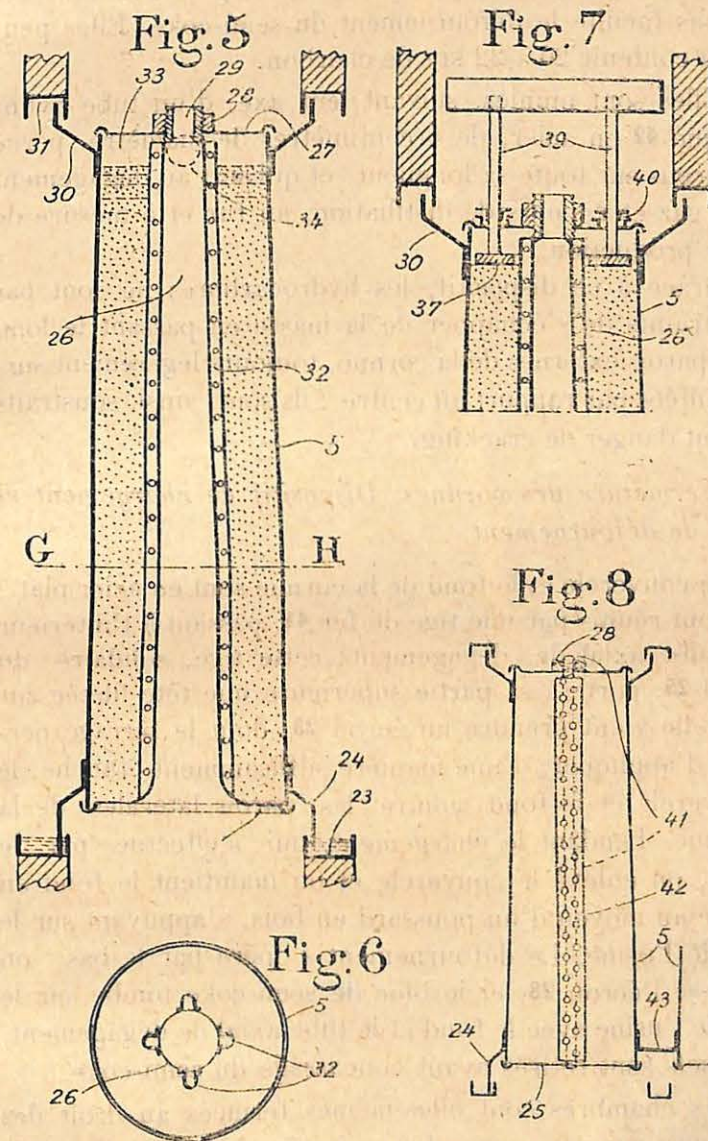
— 1° Assurer, automatiquement, le préchauffage du charbon, dont Illingworth a montré toute l'importance en vue d'éviter le gonflement de la houille dans les cornues. Nous avons eu l'occasion d'exposer la théorie d'Illingworth dans notre précédent mémoire; nous nous bornons à rappeler ici que le gonflement doit être attribué à un dégagement abondant de matières volatiles se produisant pendant la période de ramollissement du charbon. Il convient donc d'éliminer la plus grande partie de ces matières volatiles — et spécialement celles qui sont susceptibles de se dégager en grande abondance à la température de ramollissement, c'est-à-dire, celles des constituants β — avant que ne soit atteinte cette température, qui est de l'ordre de 350° à 400°. C'est l'objet du préchauffage, qui se trouve réalisé dans le four Zuyderhoudt par le fait que le charbon, avant d'être porté à la température de 450° dans la chambre de fin de carbonisation, est chauffé pendant longtemps à des températures de 100°..., 200°..., 300°, ce qui permet le dégagement d'une grande partie des matières volatiles des constituants β .

Le gonflement étant évité, le semi-coke est obtenu sous forme de blocs denses et compacts, présentant même un léger retrait par rapport au volume initial, et n'adhérant pas aux parois de la cornue, ce qui rend leur défournement facile;

— 2° Eviter que les cornues ne soient soumises à de brusques variations de température, ce qui permet l'emploi de cornues métalliques, dont les parois sont meilleures conductrices de la chaleur.

D. Forme des cornues.

Les cornues actuellement employées à l'usine de Droogbosch sont représentées fig. 8 : elles sont en acier extra-doux, et d'une forme tronconique, avec une hauteur



utile de 1^m,10, un diamètre de 17 centimètres au sommet et de 20 centimètres à la base : cette légère conicité vers le bas facilite le défournement du semi-coke. Elles peuvent contenir 20 à 22 kgs de charbon.

Elles sont munies, suivant leur axe, d'un tube cylindrique **42** en acier, de 5 centimètres de diamètre, percé de trous sur toute sa longueur, et qui sert au dégagement des gaz et vapeurs de distillation, au fur et à mesure de leur production.

Grâce à ce dispositif, les hydrocarbures ne sont pas contraints de s'échapper de la masse en passant le long des parois externes de la cornue, toujours légèrement surchauffées par rapport au centre : ils sont, ainsi, soustraits à tout danger de cracking.

— *Fermeture des cornues. Dispositif de chargement et de défournement.*

Le couvercle et le fond de la cornue sont en acier plat : ils sont réunis par une tige de fer **41**, passant à l'intérieur du tube axial de dégagement ; cette tige, solidaire du fond **25**, porte à sa partie supérieure une tête filetée sur laquelle vient prendre un écrou **28**, dont le serrage permet d'appliquer, d'une manière suffisamment étanche, le couvercle et le fond contre les parois latérales de la cornue. Pendant le chargement, qui s'effectue par le haut, on enlève le couvercle et on maintient le fond en place au moyen d'un poussard en bois, s'appuyant sur le sol de l'usine. Le défournement s'opère par le bas : on dévisse l'écrou **28**, et le bloc de semi-coke tombe sur le sol de l'usine avec le fond et le tube axial de dégagement, lesquels sont retirés avant concassage du semi-coke.

Les chambres sont elles-mêmes fermées au droit des cornues, par des couvercles avec joint de sable à la partie supérieure, et par des portes à la partie inférieure : cou-

vercles et portes doivent être ouverts en vue du chargement ou du défournement.

La fig. 3 représente le dispositif de chargement et de défournement employé à l'usine de Droogenbosch. Le chargement s'opère au moyen de wagonnets à charbon **44**, roulant sur des rails fixés sur la maçonnerie supérieure du four, et munis de trémies venant se placer au droit des têtes de cornues. Le déchargement des blocs de semi-coke, lorsque l'on veut éviter de les briser, s'effectue sur des trucks roulants **51**, munis de plate-formes mobiles **52**, équilibrées par des contrepoids **53**. Ces plate-formes, amenées sous les cornues, reçoivent les blocs de semi-coke et s'abaissent doucement sous leur poids jusqu'au niveau du plancher du truck.

— *Variantes imaginées par l'inventeur dans la construction des cornues.*

1° Afin d'augmenter la capacité de ses cornues, sans faire croître l'épaisseur de charbon comprise entre deux parois chauffées, M. Zuyderhoudt a imaginé la forme représentée fig. 5 et 6, qui est en somme celle d'une cornue à double paroi tronconique ; les gaz chauffants circulent à la fois à l'extérieur de la paroi externe, et à l'intérieur du tube tronconique interne ; le charbon à carboniser est contenu entre les deux parois. L'évacuation des gaz de distillation se fait par des tubes perforés, fixés à la paroi du tube tronconique interne ; mais cette paroi étant chauffée, on voit que les hydrocarbures ne sont plus soustraits au danger du cracking. Cette variante du procédé paraît donc peu recommandable.

2° M. Zuyderhoudt a imaginé également de charger de poids assez lourds la tête de ses cornues (fig. 7), afin d'aider au tassement et à l'agglomération du semi-coke, lorsque l'on veut traiter des charbons ultra-bitumi-

neux. Nous considérons personnellement ce moyen comme inefficace, et pensons que seuls un préchauffage prolongé, ou encore un mélange avec des charbons pauvres en constituants β , permettent d'éviter, dans ce cas, le gonflement et le boursoufflement du produit.

— *Fixation des cornues à la voûte et à la sole des chambres.*

Les fig. 5 et 7 représentent le mode de cette fixation, effectuée de manière à permettre la libre dilatation des cornues sous l'influence de la chaleur. Des bras 24, 30, rivés à la paroi extérieure des cornues, s'engagent dans des couloirs métalliques 23, 31, faisant corps avec la sole ou avec la voûte du four, et qui guident simplement les bras dans le sens latéral.

E. *Gaz employé pour le chauffage du four.*

On peut employer, comme gaz de chauffage, soit le gaz de distillation lui-même, soit du gaz de gazogène produit à l'aide des déchets de semi-coke, soit du gaz étranger.

La première solution est antiéconomique : le gaz de distillation est un gaz très riche (6.000 calories par m³ au moins), qu'il est plus avantageux de vendre, par exemple comme agent d'enrichissement du gaz de ville.

La seconde solution est la meilleure : elle permet d'utiliser sur place le grésillon (déchets de semi-coke, de dimensions inférieures à 25 millimètres), dont le prix de vente n'est pas rémunérateur. Elle s'imposera vraisemblablement dans les applications industrielles à grande échelle; elle n'est pas appliquée à Droogenbosch où les dimensions restreintes de l'usine, et son but purement expérimental, ne justifiaient pas les frais qu'aurait entraînés l'érection d'une batterie de gazogènes.

La troisième solution (chauffage au gaz de ville) n'est évidemment qu'une « solution de laboratoire »; elle est employée à Droogenbosch, malgré son coût élevé, en raison de la marche intermittente de l'usine et des facilités qu'elle donne pour la mise en marche et l'arrêt instantanés des installations.

F. *Perfectionnements à apporter au four Zuyderhoudt.*

L'étude de la disposition générale de ce four, les constatations que nous avons faites au cours de nos visites, ainsi que celles qui ont été faites par la Commission d'Experts au cours de ses essais, nous ont amené à rechercher les causes de certaines imperfections thermiques, qui peuvent se résumer comme il suit :

La chaleur n'est pas répartie d'une façon uniforme dans les chambres. On constate notamment, dans la chambre de fin de carbonisation, la présence d'une zone chaude à proximité des brûleurs, qui sont d'ailleurs disposés, non pas dans la sole comme l'indique le dessin, mais latéralement, dans la paroi extérieure, à 35 centimètres au-dessus du niveau de la sole, et en nombre restreint (4 seulement par chambre). La différence de température, entre la zone voisine des brûleurs et celle qui en est la plus éloignée, est de l'ordre de 80° à 100°, et le semi-coke fourni par les cornues de l'une et l'autre zone présente de notables différences quant à l'achèvement de la cokéfaction.

Sans doute, la disposition des brûleurs dans la sole, comme prévu au dessin initial de Zuyderhoudt, et l'augmentation de leur nombre, amélioreraient la répartition de la chaleur. Mais nous estimons qu'une répartition absolument uniforme, entraînant une égalité complète de température, et par suite de cokéfaction, dans les différentes cornues, pourra être obtenue en réalisant, dans

chaque chambre, la circulation *descendante* des gaz chauffants. Par ce moyen, en effet, et par ce moyen seul, on peut forcer ceux-ci à s'étaler uniformément dans toute la section horizontale de la chambre; au lieu que, si on les laisse traverser la chambre dans le sens ascendant, c'est-à-dire suivant leur tendance propre qui est ascensionnelle, ils la traversent en minces filets fluides, inégalement répartis. Cette supériorité des fours à flamme renversée sur les fours à flamme montante a été établie, comme on sait, par le professeur Groume (1).

Pour tenir compte de ce qui précède, et pour éviter en même temps le chauffage trop direct des cornues par les brûleurs, nous avons indiqué, aux dirigeants de l'usine, le dispositif suivant : des chambres de combustion, disposées entre les chambres de carbonisation, et servant, soit à brûler le gaz de chauffage, soit à assurer le passage rationnel des gaz chauffants d'une chambre de carbonisation à l'autre (admission par le haut, évacuation par le bas, de manière à réaliser la circulation descendante des gaz chauffants dans chaque chambre).

Ce dispositif est schématisé ci-après à la fig. 9, les chambres de combustion étant désignées par les lettres

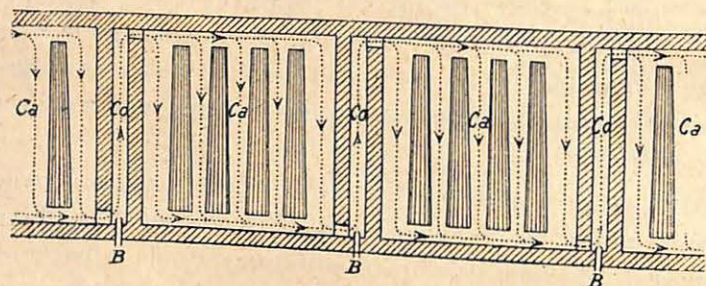


FIG. 9.

(1) *Essai d'une théorie des fours à flammes, basée sur les lois de l'hydraulique*, par W.-E. GROUME-GRJIMAILO (Paris, Dunod, 1920).

Co, les chambres de carbonisation par les lettres Ca, les brûleurs par les lettres B et la circulation des gaz chauffants étant indiquée par un trait pointillé muni de flèches. Nous croyons que son exécution permettra de remédier aux imperfections thermiques du four d'essai de Droogenbosch — imperfections qui sont d'ailleurs communes à tous les fours de carbonisation à basse température par chauffage externe. L'inventeur lui-même s'en était déjà rendu compte, et il avait envisagé une solution analogue par certains points à celle que nous venons de décrire.

Nous ajouterons enfin que, dans un four industriel, la capacité unitaire des cornues devra être augmentée, afin de simplifier les opérations d'enfournement et de défournement. Cette augmentation sera obtenue par un accroissement sensible de la hauteur des chambre, et par suite de celle des cornues elles-mêmes. On a également étudié les effets d'une réunion des quatre cornues à section circulaire d'une même file transversale, en une seule grande cornue, à section rectangulaire allongée, analogue aux cornues verticales d'usine à gaz, mais à parois métalliques et avec canal rectangulaire médian pour l'évacuation des gaz de distillation. Les résultats de cet essai ont été satisfaisants.

Il convient toutefois de remarquer que l'on n'a pas intérêt à augmenter outre mesure les dimensions des blocs de semi-coke défournés, ceux-ci devant être concassés ensuite en morceaux de grandeur commerciale, pour la vente comme combustible domestique.

G. Appareils de condensation des vapeurs de carbonisation.

Les appareils utilisés à l'usine de Droogenbosch pour la condensation des vapeurs de distillation sont assez sommaires. Les gaz, provenant des collecteurs 36, faisant

office de barillets, sont dirigés, par une conduite métallique de 35 millimètres de diamètre, vers un condenseur tubulaire à eau; ils sont ensuite repris par un aspirateur mû électriquement, faisant office d'extracteur; ils passent alors dans une caisse prismatique de section carrée, contenant du charbon actif qui absorbe les vapeurs légères entraînées par les gaz; et parviennent enfin à un petit gazomètre.

Les goudrons sont recueillis au bas des collecteurs 36 et du condenseur tubulaire à eau.

§ III. — Rendements du procédé Zuyderhoudt en produits divers.

Ces rendements ont été établis, comme nous l'avons dit plus haut, par des essais effectués par une Commission d'experts éminents: MM. Bruylants, Chavanne, Crismer, Florentin, Kling, Mage et Matignon.

Ayant eu l'occasion d'étudier la façon de procéder du « Fuel Research Board » anglais pour les essais d'usines de carbonisation à basse température, nous désirons rendre hommage au travail de ces Experts qui, avec un matériel de fortune et opérant sur un four dont la mise au point n'était pas terminée, ont obtenu des résultats d'une précision industrielle parfaite.

Nous devons remercier tout spécialement le Colonel Mage, le savant professeur à l'École de Guerre de Belgique, de l'amabilité avec laquelle il a bien voulu nous accompagner au cours de notre première visite à l'usine

de Droogenbosch, et nous donner des renseignements sur les travaux de la Commission dont il faisait partie. Nous désirons adresser aussi nos remerciements à notre éminent collègue M. Bruylants, professeur de chimie à l'Université de Louvain, avec lequel nous avons eu également un entretien à ce sujet.

Les essais ont porté sur des fines de Winterslag et de Flénu, utilisées soit individuellement, soit à l'état de mélange, et dont l'analyse a donné les résultats suivants:

	Winterslag	Flénu
Humidité	21,80 %	2,00 %
Matières volatiles		25,60
Carbone fixe	66,70	57,60
Cendres	11,60	14,90
Soufre	0,55	0,70
Azote	1,33	1,20
Pouvoir calorifique	7.681 cal /kg.	6.916 cal /kg.

Ces charbons ont été carbonisés, soit purs, soit en mélange de 1/3 Winterslag + 2/3 Flénu, ou de 1/2 Winterslag + 1/2 Flénu.

Les pouvoirs agglutinants de ces deux charbons n'ont pas été déterminés. On sait que celui du « Winterslag » est élevé, tandis que celui du « Flénu » est très faible.

Les rendements moyens en produits divers ont été les suivants, par tonne de houille traitée :

— Semi-coke = 800 kgs dont $\left\{ \begin{array}{l} 700 \text{ kgs en morceaux} \\ > 25 \text{ millimètres;} \\ 100 \text{ kgs en grésillon} \\ (< 25 \text{ millimètres}). \end{array} \right.$

- Goudron primaire, anhydre = 35 à 50 kgs.
- Gaz = 130 m³, à 6.000 calories/m³ (pouvoir calorifique supérieur).
- Sulfate d'ammoniaque = 2 à 4 kgs (non récupérable industriellement).

Ces rendements sont comparables à ceux des meilleurs procédés anglais de carbonisation à basse température par chauffage externe.

Ceux-ci donnent en général, pour des houilles à 32-35 % de matières volatiles et 5 % de cendres : 70 % de semi-coke, 9 à 9,5 % de goudron anhydre et 100 à 160 m³ de gaz à 6.000-6.200 calories/m³, par tonne de houille carbonisée. Si on les applique au traitement de houilles moins riches en matières volatiles, — tel le procédé Illingworth, qui a été employé pour la carbonisation de mélanges gallois à 20 % de M. V., — on obtient 80 à 83 % de semi-coke, 2,7 à 3,6 % de goudron anhydre et 100 m³ de gaz à 6.600 calories — résultats analogues à ceux du four Zuyderhoudt.

Ces derniers ont été obtenus en marche discontinue, en n'utilisant pour la carbonisation qu'une, ou au maximum deux chambres du four. Pour diverses raisons, la marche continue au moyen de l'ensemble du four n'a pas été réalisée au cours des essais. Les experts ont pris, toutefois, la précaution de n'élever que très progressivement la température de la chambre de carbonisation, et de la laisser longtemps à une température inférieure à 350°.

A. Semi-coke.

Voici les résultats d'analyses effectuées sur des échantillons moyens de semi-coke obtenu en carbonisant des mélanges :

- a) 2/3 Flénu + 1/3 Winterslag;
- b) 1/2 Flénu + 1/2 Winterslag;
- c) Flénu pur.

	Mélange a.	Mélange b.	Charbon c
Humidité	1,60 %	1,55 %	5,54 %
Matières volatiles	6,50	5,45	
Carbone fixe	78,50	79,80	77,16
Cendres	13,40	13,20	17,30
Soufre	0,39	—	0,75
Pouvoir calorifique	7.025 cal./kg.	7.190 cal./kg.	6.505 cal./kg.
Résistance à la compression	—	100,8 kgs par cm ²	49,4 kgs par cm ²
Proportion de gros (> 25 m/m. après concassage)	81 %	92 %	71 %

Nous avons eu l'occasion d'examiner de nombreux échantillons de ce semi-coke, qui est de belle qualité, équivalent au point de vue cohésion, résistance à la pression et proportion de gros, aux meilleurs semi-cokes anglais.

Nous avons toutefois constaté, sur l'un des morceaux de semi-coke que nous avons examinés, de légères traces de boursoufflement, à l'endroit qui touchait au tube central de dégagement des gaz. Nous estimons que même ces traces n'existeraient pas, et que la compacité et l'homogénéité du semi-coke seraient complètes, si la carbonisation s'opérait dans le four entier en marche méthodique, en suivant rigoureusement le principe de Zuyderhoudt, qui assure un préchauffage parfait de la matière à carboniser.

Le semi-coke Zuyderhoudt possède une grande facilité d'ignition, qui n'est pas due à la rémanence d'un trop grand pourcentage de matières volatiles, mais à sa structure légèrement poreuse.

Sa teneur en cendres, plus élevée que celle de la coalite Parker qui n'en contient que 6,4 %, est due naturellement au pourcentage plus élevé de cendres du charbon dont il provient. (Nous croyons d'ailleurs préférable de traiter, au lieu de fines brutes, des fines 1-8 ou 2-8 lavées, à 8-10 % de cendres, quitte à sécher ces fines au moyen des chaleurs perdues des fumées.)

Sa résistance au transport a été établie par des essais de charriage sur route, institués par les Experts.

Le semi-coke Zuyderhoudt a été employé avec succès, en remplacement de charbons anthraciteux, dans des poêles à feu continu et dans des foyers de chauffage central, ainsi que pour d'autres usages domestiques.

B. Goudron primaire.

La distillation fractionnée du goudron provenant du mélange a) a donné les résultats suivants :

	Proportion	Densité	Teneur en phénols
Fraction distillée entre 100° et 200°	6,5 %	0,850	11 %
» » 200° et 250°	13,5 %	0,875	50 %
» » > 250°	80 %	—	—

— Celle du goudron provenant du mélange b) a donné :

Fraction distillée en dessous de 150° = 3,30 % ;

» entre 150° et 180° = 4,75 % ;

» » 180° et 210° = 7,70 % ;

» » 210° et 250° = 11,20 %.

avec une teneur en phénols de 15 % pour la fraction passant avant 200°.

— Enfin, le goudron provenant du charbon c) a subi comme suit la distillation fractionnée :

Fraction distillée en dessous de 150° = 2,10 % ;

» entre 150° et 180° = 6,55 % dont
21 % solubles dans la soude ;

» » 180° et 210° = 6,55 % dont
40 % solubles dans la soude ;

» » 210° et 260° = 16,55 % dont
42 % solubles dans la soude ;

» » 260° et 310° = 15,00 % dont
41 % solubles dans la soude,

soit environ 47 % de produits distillés en dessous de 310°, avec une teneur moyenne de 40 % de phénols ; et 53 % de résidu.

— Ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans la distillation fractionnée du goudron Parker (1). Ce dernier contient, toutefois, un pourcentage un peu moins élevé de phénols : 17,06 % du volume total du goudron, soit 33,8 % des produits distillés en dessous de 310°, contre 40 % pour le goudron Zuyderhoudt — lequel présente d'ailleurs tous les caractères du bon goudron primaire.

La proportion d'essence légère, recueillie dans la caisse à charbon actif, est très faible (0 kg.,44 à la tonne

La proportion d'essence légère, recueillie dans la caisse à charbon actif, a été de 4 kgs,4 à la tonne de charbon traitée : elle eût dépassé ce chiffre, si le charbon actif avait été de meilleure qualité.

(1) Cf. « La carbonisation à basse température en Angleterre », par CHARLES DEMEURE (*Annales des Mines de Belgique*, tome XXVII, 2^e liv., p. 467).

C. Gaz.

De nombreuses analyses de gaz ont été faites sur des échantillons prélevés au cours de la carbonisation du mélange *a*) et du charbon *c*). Voici quelques résultats moyens :

	Mélange a.	Mélange a.	Charbon c.
CO ₂	2,7 %	2,2 %	3,4 %
Carbures incomplets. .	2,2	1,7	1,9
O ₂	1,3	1,7	2,1
CO	4,9	5,0	4,1
CH ₄	49,7	38,0	47,6
H ₂	31,7	43,0	31,5
N ₂	7,4	8,5	9,3
Pouvoir calorifique supérieure (calculé) . .	6.421 cal./m ³	5.510 cal./m ³	6.005 cal./m ³
Température de la chambre lors du prélèvement	505°	500°	600°

Le gaz Zuyderhoudt, riche en méthane, possède, comme on le voit par les chiffres du tableau ci-dessus, un pouvoir calorifique élevé, équivalent à celui du gaz Parker. Il peut être utilisé comme agent d'enrichissement du gaz de ville, comme gaz de chalumeau, etc

§ IV. — Rendement thermique du procédé Zuyderhoudt.

Le rendement thermique est le point par lequel le procédé Zuyderhoudt se distingue des autres procédés de carbonisation par chauffage externe. Ces derniers présentent, en effet, comme lui, les avantages que nous venons d'énumérer quant à la qualité des produits : tel, le procédé Illingworth qui, grâce au préchauffage ou au mélange scientifique des charbons, évite le gonflement et donne un semi-coke absolument dense et compact ; tel aussi, le procédé Hird, qui assure le dégagement central des vapeurs de distillation par le moyen de barres tournantes, disposées dans l'axe des cornues ; tels enfin, sous le rapport de la richesse du gaz, presque tous les procédés par chauffage externe, qui donnent un gaz très concentré, à haut pouvoir calorifique.

Mais le point faible des procédés par chauffage externe connus à ce jour, c'est le rendement thermique : et là gît, par conséquent, l'intérêt du principe de chauffage imaginé par Zuyderhoudt : réaliser, grâce à l'application du four annulaire à la carbonisation à basse température, la *continuité* et la *méthodicité* du chauffage, qui semblaient être jusqu'à présent l'apanage exclusif des procédés par chauffage interne.

La continuité évite les pertes de chaleur par refroidissement du four, qui se produisent, en marche intermittente, à chaque enfournement et défournement. La méthodicit  évite les pertes de chaleur sensible entraînées par les fumées ou par les produits défournés.

Le procédé Zuyderhoudt vise à la récupération intégrale de ces chaleurs, ainsi que l'on peut s'en rendre

compte d'après l'exposé que nous avons fait plus haut du processus de chauffage.

1° *Récupération de la chaleur sensible des fumées.* — Cette chaleur est employée au préchauffage de la houille à carboniser, lequel s'effectue, à l'instant considéré dans notre exposé, dans les chambres 4F, 4G, 4H, à des températures décroissantes de 300°, 200°, 100°. Les fumées quittent donc le four à une température peu supérieure à 100°; le peu de chaleur sensible qu'elles contiennent encore à cette température pourrait être utilisé pour une première dessiccation du charbon, à la condition d'assurer la circulation des fumées au moyen d'un aspirateur.

2° *Récupération de la chaleur sensible du semi-coke.* — Cette chaleur, en même temps que celle des cornues et des chambres mêmes du four, est utilisée, comme nous l'avons vu, pour le réchauffage de l'air comburant. Chambres et cornues sont ainsi refroidies progressivement, à des températures qui décroissent jusqu'aux environs de la température ambiante. Le défournement peut s'opérer à peu près à cette dernière température, et n'entraîne, par suite, qu'une perte de chaleur insignifiante.

Nous ne pouvons fournir en ce moment, à nos lecteurs, un bilan thermique complet de l'usine, établi d'après la méthode du Fuel Research Board, pareil bilan n'ayant pu être dressé pour l'usine semi-industrielle de Droogbosch en raison des imperfections constructives dont nous avons parlé. Nous estimons toutefois que les conséquences de la double récupération que nous venons de décrire seront d'assurer un rendement thermique analogue à ceux obtenus dans les procédés par chauffage interne — soit 93 à 94 %.

§ V. — Bilan commercial du procédé Zuyderhoudt.

Nous avons déjà attiré l'attention des lecteurs de cette Revue sur le caractère hypothétique que présente forcément un bilan commercial de procédé, établi « avant-coup » (1). Cette réserve faite, il nous paraît intéressant de leur fournir quelques éléments d'appréciation sur le rendement financier que pourrait donner une usine Zuyderhoudt de dimensions suffisantes : c'est-à-dire, capable de traiter une centaine de tonnes de charbon par jour. Nous prendrons, comme d'habitude, pour base de notre bilan, la tonne de charbon traitée.

A. Dépenses.

1° Matière traitée.

La matière qu'il est indiqué de traiter, dans une usine de carbonisation à basse température, est, à notre avis, le poussier lavé, à haute teneur en matières volatiles, et faible pouvoir cokéfiant; tel, le poussier Flénu.

Un tel poussier, impropre à la fabrication du coke métallurgique, est la matière, relativement bon marché, qu'il est intéressant de « valoriser » en la transformant en combustible domestique, en huiles et en gaz. Les essais des experts ont démontré que le semi-coke obtenu en partant de cette matière est suffisamment cohérent et résistant (49 kgs,4 de résistance à l'écrasement par cm²); et que, d'autre part, grâce à la haute teneur en matières volatiles du poussier Flénu, le rendement en huiles et en gaz est satisfaisant — sans atteindre, bien entendu, les

(1) « La carbonisation à basse température en Angleterre », p. 483. chiffres qui seraient obtenus par la carbonisation de charbons anglais bitumineux.

Si l'on veut augmenter la cohésion et la résistance du semi-coke, on pourra mélanger au poussier Flénu une certaine quantité de poussier à grand pouvoir agglutinant : tel, celui de Winterslag ou celui de Limbourg-Meuse, qui ont donné, aux essais, d'excellents résultats. Mais ces additions de charbon à coke doivent rester faibles, si l'on ne veut pas enlever à la carbonisation à basse température son grand avantage économique : permettre la valorisation des poussières non-cokéfiants.

Il convient d'insister sur ce point, et de bien établir que la carbonisation à basse température, qui ne cherche pas à concurrencer les cokeries sous le rapport des produits fabriqués (le semi-coke domestique différant essentiellement du coke métallurgique), ne doit pas non plus rivaliser avec elles sous le rapport des matières traitées.

Le poussier 2-8 Flénu, lavé, à 8-10 % de cendres, cote, à fin juin 1927, 140 francs la tonne, sur wagon ou bateau la mine. Le poussier à coke, de mêmes dimension et teneur en cendres, cote 150 fr.

Nous supposons que l'on traite du poussier Flénu avec un faible appoint de poussier à coke ; ou, si l'on veut augmenter le rendement en semi-coke, avec un appoint, qui pourra être plus considérable, de poussier maigre. Dans l'hypothèse d'une usine de carbonisation indépendante de la mine, et située à une certaine distance de celle-ci (30 à 40 km.), le prix de 140 francs la tonne devra être majoré d'une dizaine de francs pour le fret par eau, et de 2 à 3 francs pour les frais de déchargement et de manutention par appareils mécaniques analogues à ceux employés dans les supercentrales. Soit, au total, 152 à 153 francs : disons, par prudence, 155 francs.

2° *Frais de carbonisation, d'intérêt et d'amortissement.*

Les charges similaires, pour une usine de carbonisation à basse température par chauffage externe, système Par-

ker, de 100 tonnes par jour, sont évaluées par le D^r Lander à 3 sh. 8 d. par tonne de charbon traitée, pour la main-d'œuvre, force motrice, entretien et divers ; et à 4 sh. pour l'intérêt (10 %) et l'amortissement (10 % également) du capital : soit, au total, 7 sh. 8 d. ou fr. 67.15. Ce chiffre ne comprend pas le coût du combustible employé pour le chauffage des cornues (gaz de dillation, dans le procédé Parker ; gaz pauvre obtenu aux dépens du grésillon produit par la carbonisation, dans le procédé Zuyderhoudt : l'un et l'autre sont décomptés du poste des recettes et ne doivent donc pas figurer comme dépenses).

Il convient de remarquer que l'usine Parker peut être considérée comme une des plus coûteuses, tant de premier établissement que de main-d'œuvre et d'entretien. L'usine Zuyderhoudt devrait cependant être considérée comme plus coûteuse encore sous le rapport du prix de premier établissement, en raison de la multiplicité des chambres : elle serait, d'autre part, moins coûteuse d'entretien, la progressivité du chauffage et la continuité de marche assurant une meilleure conservation de ses organes et une réduction très sensible des réparations.

Au total, on peut majorer légèrement le chiffre de fr. 67.15 à la tonne et le porter à 75 francs, pour tenir compte également des frais de gazéification du grésillon.

B. *Recettes.*

Nous adopterons définitivement l'hypothèse — la plus rationnelle au point de vue économique — du chauffage au moyen du grésillon gazéifié. Le rapport des experts mentionne qu'il en est produit environ 100 kgs par tonne de charbon traitée.

Cette quantité est théoriquement suffisante pour la carbonisation à basse température d'une tonne de houille,

puisque l'on admet généralement que cette carbonisation requiert environ 600.000 calories. Mais nous savons qu'il n'en sera réellement ainsi, dans la pratique, que si le four a un rendement thermique élevé. Et c'est ici qu'apparaît l'importance du rendement thermique, en tant que facteur du rendement commercial : réduire au minimum la quantité de produits que l'on est obligé de consommer pour l'accomplissement de l'opération elle-même; et libérer, ainsi, le maximum de produits pour la vente.

Nous rappellerons, à cet égard, l'exemple du four de la « Low Temperature Carbonisation Ltd, où le gaz de distillation devait suffire au chauffage des cornues; et même donner un excédent vendable; alors qu'en fait, par suite du mauvais rendement thermique du four, le gaz de distillation s'est révélé insuffisant, malgré ses 993.000 calories disponibles, et a dû être complété par du gaz de gazogène produit spécialement à cet effet, au grand détriment du bilan commercial.

Pareil mécompte sera évité, selon toute vraisemblance, dans le four Zuyderhoudt, qui est un four récupératif : et l'on peut considérer que 100 kgs de grésillon, à plus de 6.500 calories par kg., suffiront, et au delà, à assurer la carbonisation d'une tonne de houille.

Il reste alors au poste des recettes, en prenant les chiffres moyens établis par les experts, les produits vendables suivants :

1° *Semi-coke* en gros fragments (> 25 millimètres) = 700 kgs.

Il est naturellement difficile de fixer un prix pour ce produit, qui n'est pas encore introduit sur le marché belge. Les uns considèrent que, vu son équivalence avec l'anhracite, il pourra être vendu aux prix atteints par ce combustible, lesquels varient, à fin juin 1927, entre 280

et 320 francs la tonne, suivant les dimensions; soit, en moyenne, 300 francs sur wagon ou bateau départ.

D'autres estiment que le prix du semi-coke se rapprochera de celui obtenu aujourd'hui pour le coke mi-lavé, à 13-15 % de cendres, non destiné aux hauts fourneaux: ce prix est, à fin juin 1927, de 200 francs la tonne.

Si l'on prend une moyenne entre ces deux évaluations, on arrive à un prix de 250 francs la tonne, lequel est voisin du prix obtenu en Angleterre, avant la grève, pour un semi-coke équivalent : 30 sh. la tonne, soit 262 francs au change actuel.

Le prix de 250 francs à la tonne donne, pour 700 kgs de semi-coke, une recette de 175 francs.

2° *Goudron primaire (anhydre)*: 35 à 50 kgs — soit, en moyenne, 42,5 kgs.

Nous nous heurtons aux mêmes difficultés, dans l'estimation du prix de vente futur de ce produit. Il est, toutefois, certain que sa valeur marchande sera supérieure à celle du goudron de carbonisation à haute température — lequel cote, à fin juin 1927, de 700 à 725 francs la tonne pour grosses quantités, et de 725 à 750 francs pour quantités ordinaires.

En adoptant le prix de fr. 0,725 le kg., nous resterons en dessous du prix de vente de 1 d. 24 (soit fr. 0,88 actuel) obtenu en Angleterre, avant la grève, pour le goudron primaire. La recette sera, pour 42,5 kgs de goudron, fr. 30,80 ou 30 francs en chiffres ronds (1).

3° *Gaz* = 130 m³, à 6.000 calories.

Le prix et l'écoulement facile de ce gaz dépendront de la situation de l'usine : il convient cependant de remar-

(1) M. Charles Berthelot nous signale que le goudron primaire est susceptible d'être transformé intégralement en carburants, par hydrogénation, grâce aux procédés découverts récemment par MM. Kling et Florentin d'une part, par M. Prudhomme d'autre part. Le procédé Prudhomme sera

quer qu'il s'agit d'un gaz riche, pouvant être transporté au loin.

Nous savons que d'importantes cokeries de ce pays livrent la totalité de leur gaz de fours à coke, d'un pouvoir calorifique de 5.000 calories par m³, à des entreprises de distribution du gaz de ville, à un prix d'environ fr. 0,30 le m³, prix considéré comme bas.

Le gaz à 6.000 calories conviendrait encore beaucoup mieux comme agent d'enrichissement du gaz de ville, grâce à sa plus grande concentration qui augmente sa valeur dans une mesure plus que proportionnelle à sa richesse en calories : et l'on peut considérer qu'il commanderait un prix minimum de fr. 0,40 le m³ : soit, pour 130 m³, une recette de 52 francs.

Le bilan commercial du procédé Zuyderhoudt, pour une usine de 100 tonnes/jour, s'établit dès lors comme il suit, par tonne de charbon traitée :

— Dépenses.			
— Matière traitée	fr.	155,00	
— Frais de carbonisation, d'intérêt, d'amortissement et divers		75,00	
Total dépenses	fr.	230,00	230,00
— Recettes.			
— Semi-coke	fr.	175,00	
— Goudron primaire		30,00	
— Gaz		52,00	
Total recettes	fr.	257,00	257,00
— Bénéfice à la tonne	fr.		27,00

appliqué prochainement au traitement du goudron primaire préparé par la carbonisation du lignite extrait d'une mine du Gard.

Nous renvoyons nos lecteurs à l'intéressante communication sur la composition et l'utilisation chimiques du charbon, faite le 30 avril 1927 par M. Charles Berthelot, à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale de France. Le texte de cette communication paraîtra dans un des numéros prochains du Bulletin de cette Société.

Si l'on ajoute, à ce chiffre, l'intérêt de 10 % déjà prévu dans les frais comme première rémunération du capital, et qui représente un gain de 17 fr. 50 à la tonne, on arrive à un bénéfice net total de **44 fr. 50** par tonne de charbon traitée.

CONCLUSION

Le procédé Zuyderhoudt paraît susceptible de donner, après une mise au point définitive, des résultats commerciaux appréciables. Il présente des traits distinctifs intéressants que nous pouvons résumer comme il suit :

- 1° Evacuation centrale des gaz de carbonisation, permettant d'éviter le cracking des hydrocarbures et d'obtenir un bon goudron primaire ;
- 2° Progressivité du chauffage, assurant :
 - a) la bonne conservation des cornues, qui peuvent être métalliques ;
 - b) le préchauffage de la houille à carboniser, dont on évite ainsi le gonflement ;
- 3° Continuité et méthodicit  du chauffage, avec récupération de la chaleur sensible des gaz chauffants et du semi-coke, assurant un bon rendement thermique.

Mais quel que soit l'intérêt qu'offre, en lui-même, le procédé Zuyderhoudt, il revêt à nos yeux une importance plus générale, par le fait qu'il porte la marque d'une tendance nouvelle, que nous n'avons cessé de recommander dans nos travaux antérieurs, et qui nous paraît de nature à exercer une influence heureuse sur le développement de la carbonisation à basse température : la recherche d'un bon rendement thermique, en tant que facteur du prix de revient, jointe à celle d'une qualité satisfaisante des produits