

tenant 8 % d'oxygène et 37 % de méthane, un chien demeure pendant huit heures sans manifester de troubles asphyxiques ou autres.

Enfin, poursuivant ces recherches, l'auteur a poussé l'action du gaz jusqu'à déterminer l'asphyxie mortelle des animaux témoins, en les plaçant dans une atmosphère fortement grisouteuse (75 %). Des analyses du sang des animaux autopsiés, avec examen spectroscopique et des analyses anatomo-pathologiques, n'ont révélé aucune lésion récente quelconque.

En conclusion, l'auteur en arrive à l'absence d'action physiologique ou pathologique du grisou, les asphyxies qu'il entraîne devant être attribuées en totalité à l'absence ou à l'extrême raréfaction de l'air respiré.

La carbonisation, la valorisation des fines maigres et la fabrication des combustibles domestiques

PAR

M. HENRI VERDINNE,

Ingénieur en Chef, Directeur des Travaux

à la Société Anonyme des Charbonnages d'Aiseau-Prezle, à Farciennes.

INTRODUCTION

Au cours du cycle de conférences données à Mons, en 1933, sur la valorisation du charbon, il a été émis l'opinion (1) que la création dans notre pays d'usines de distillation à basse température serait de nature à apporter quelques améliorations à la situation du marché charbonnier.

Enoncée sous cette forme générale et appliquée au marché belge, cette affirmation nous paraît devoir appeler quelques réserves.

Dès qu'on se place sur le terrain de la vente, il n'est plus possible de raisonner en général, comme il est légitime de le faire pour les facteurs de la production : tonnages, rendements, prix de revient en salaires, etc. On est obligé de se souvenir que le terme « charbon » désigne en réalité de nombreuses variétés de combustibles ayant des propriétés différentes et chacune, par conséquent, son marché particulier.

En Belgique, l'Administration des Mines distingue officiellement quatre sortes de charbons, suivant leur teneur en matières volatiles.

L'importance de leurs marchés respectifs résulte du tableau ci-après :

I. — Classement des charbons belges et répartition de la production en 1934.

	% M. V.	Le Royaume.			Le vieux Bassin.
		Tonnages.	%		
Flénus	+25	6.139.840	23,27	} 45 %	} 30 %
Gras	16—25	5.711.360	21,64		
Demi-gras	11—16	8.713.810	33,02	} 55 %	} 70 %
Maigres	—11	5.823.770	22,07		
		26.388.780	100,00		

On voit que notre pays a été surtout, jusqu'à la mise en exploitation du bassin de la Campine — qui ne produit que des flénus et des gras — un producteur de charbons demi-gras et maigres, c'est-à-dire de combustibles domestiques, en vertu des systèmes de chauffage généralisés chez nous et sur le continent.

Si l'on envisage la répartition par bassins, on constate que les bassins de Charleroi et de Liège ne sont, pratiquement, que des producteurs de charbons domestiques :

II. — Répartition par Bassins.

	Campine	Couch. de Mons	Centre	Charleroi	Liège	Namur
Flénus et gras .%	100	69,6	58	9,7	6,5	—
Demi-gras et maigres .%	—	30,4	42	90,3	93,5	100
	100	100,0	100	100,0	100,0	100

Or, la carbonisation, à basse température, n'a pour résultat que de faire passer un certain tonnage des deux catégories les plus grasses dans les deux catégories les plus maigres. Au point de vue intérieur, les avantages sont donc compensés, et au delà, par les difficultés supplémentaires créées au marché des domestiques.

Au point de vue extérieur, la carbonisation permet aux pays dépourvus d'anhracites de combler cette lacune de la nature et de se passer, par conséquent, des importations des pays mieux dotés.

Au Congrès des Mines de Paris d'octobre dernier, M. Vigier (2)

a fourni les renseignements suivants sur le développement en France de la consommation des combustibles fabriqués :

III. — Développement de la fabrication des combustibles domestiques en France.

Années	Petit coke (product. directe ou de concassage)	Semi-coke	Boulets distillés
	en tonnes	en tonnes	en tonnes
1931	911.000	23.000	65.000
1932	985.000	85.000	116.000
1933	1.210.000	161.000	200.000
1934	1.477.000	164.000	302.000

Total pour 1934 : 1.943.000 tonnes.

Par une coïncidence qui n'est sans doute pas due au hasard, l'essor des nouvelles fabrications date de 1931, année de la mise en vigueur des contingentements français, lesquels firent passer le montant de nos exportations en France de 7.440.000 tonnes à 5.275.000 tonnes (1932).

Il est à redouter qu'à la faveur de barrières qu'on imagine volontiers temporaires, un état de choses définitif ne s'établisse, consacrant la fin du règne trois fois séculaire des anhracites wallons sur la place de Paris.

On devine quelle menace pèse ainsi sur les charbonnages à charbons maigres, et en fait, sur la partie la plus importante du marché belge : à l'intérieur, renforcement de la concurrence, si néfaste ces dernières années, du petit coke, par l'apparition de combustibles de qualité beaucoup supérieure; à l'extérieur, réduction, si pas, dans un avenir plus ou moins éloigné, suppression, des exportations.

Si l'on examine les moyens de parer à cette situation, il semble d'abord qu'il n'y ait pas lieu de s'arrêter à regretter le fait accompli, ni de perdre son temps à combattre le développement des nouvelles techniques. Il semble ensuite que le moyen le plus efficace se trouve dans la fabrication, par les producteurs de charbons maigres eux-mêmes, de combustibles capables de battre à la concurrence les produits mis sur le marché par les producteurs de charbons à gaz et à coke.

Cette proposition peut paraître paradoxale à première vue, puisqu'elle revient, pour les charbonnages à charbons domestiques, à se faire la concurrence à eux-mêmes.

En réalité, le problème ne présente pas cet aspect simpliste. Il est conditionné par les quantités et les prix en jeu, et la solution a l'avantage inestimable de rencontrer une autre nécessité du moment, la valorisation des fines maigres.

Pour comprendre l'importance de cette dernière et sa signification, il est nécessaire de rappeler la manière dont s'établit, en dehors des conditions du marché, le prix de vente moyen d'un charbonnage à charbons maigres.

Ainsi qu'en témoigne le tableau IV, emprunté à une étude de M. Léon Hoyois (5), le prix de vente moyen résulte des prix et quantités d'au moins huit catégories :

IV. — Charbons maigres :

Prix de vente moyen et index de vente par catégories.

Catégories	Prix unitaires.		Index.	Décomposit. de l'extraction.
	Juillet	Janvier		
	1914. Fr.	1934. Fr.		
<i>Domestiques :</i>				
Gailleries +120 .	27,49	189,22	6,9	} 7,5
Gailletins 80—120 .	29,27	215,88	7,4	
Gailletins 50—80 .	29,75	227,60	7,7	
T.-de-M. 30—50 .	33,35	250,01	7,7	
Braïettes 20—30 .	27,51	219,70	8,0	
Braïettes 10—20 .	18,83	137,53	7,3	10
<i>Industriels :</i>				
Grains 5—10 .	18,52	67,19	3,6	} 2,8
Poussier 0—5 .	11,00	28,91	2,6	

Quoique toutes ces catégories aient la même teneur en matières volatiles (11 %), le calibrage intervient pour diviser la production en charbons domestiques et charbons industriels.

Dans le cas considéré, qui n'a rien d'exceptionnel, les domestiques ne totalisent que 30 % de la production, les industriels à bas prix constituant les 70 % restants.

Or, si l'on compare les prix de vente unitaires, par catégorie, de juillet 1914 et de janvier 1934, on voit que, à cette dernière date, l'index moyen était de 7,5 pour la fraction domestique et seulement de 2,8 pour la fraction industrielle. (L'index des salaires, lesquels entraient pour 65,4 % dans le prix de revient, dépassait à ce moment 7,5.)

C'est dans ces circonstances que la clientèle, appauvrie par la crise prolongée, se détourna des catégories dites de luxe, comme les têtes-de-moineaux, pour accorder sa faveur aux braïettes ou au petit coke. Il en résulta un déséquilibre du prix de vente moyen, déséquilibre atténué en 1935 par le relèvement des prix des industriels et des petits calibres domestiques recherchés, ainsi que par la prime au change français.

Il n'en reste pas moins que dans les conditions actuelles, 70 % de la production d'un charbonnage à charbons maigres sont vendus à un prix inférieur au prix de revient moyen, la compensation devant être trouvée par la vente des catégories domestiques les plus chères.

En présence de la tendance à l'avilissement des prix de celles-ci, soit par la désaffection de la clientèle, soit par les concurrences nouvelles, l'équilibre ne pourra être rétabli que par la valorisation des fines maigres industrielles.

Le but de la présente étude est de rechercher si cette valorisation peut se faire par la fabrication de combustibles domestiques susceptibles de concurrencer avec succès ceux mis sur le marché par les producteurs de charbons à coke et à gaz : coke, semi-coke et boulets distillés.

Nous examinerons à cet effet, dans le détail, le processus de la carbonisation, pour en déduire les possibilités qu'elle offre à chacun des concurrents.

LA CARBONISATION

Le résultat de l'échauffement d'une houille, à une température suffisante, est différent selon que l'on procède à l'air ou à l'abri de l'air.

Dans le premier cas, il y a oxydation générale des constituants du charbon; après le départ des fumées, il reste un résidu inerte, les cendres. C'est la *combustion*.

Dans cette opération pratiquée en vue du chauffage, la quantité de chaleur libérée importe seule. Des équations chimiques très sim-

ples entre l'oxygène de l'air et les corps simples présents dans le combustible expliquent ce qui se passe, et permettent de calculer les quantités intéressantes mises en jeu : la quantité de chaleur libérée par la formation des oxydes, la température atteinte, le volume des fumées, etc.

Quand on chauffe à l'abri de l'air, il y a décomposition du combustible, qui laisse d'abord échapper ses éléments les plus volatils. Ce dégagement comprend des vapeurs qui se condensent par refroidissement, et des gaz dont le point de condensation est suffisamment élevé au-dessus de la température ordinaire que pour être appelés permanents. Le résidu solide de l'opération est, cette fois, lui-même un combustible, dont les propriétés diffèrent du charbon primitif, mais dont le pouvoir calorifique est resté du même ordre.

En d'autres termes, la carbonisation d'un charbon fournit un goudron, un gaz et un coke, et ce phénomène est de portée absolument générale, comme l'indique le tableau V.

La carbonisation se distingue donc essentiellement de la combustion en ce que, au lieu de viser uniquement à la production de chaleur comme cette dernière, elle a en vue l'obtention de produits industriels définis (*).

Le problème est beaucoup plus vaste et il peut se poser de diverses manières : Comment arriver à fabriquer un produit déterminé aux meilleures conditions ? Ou plus fréquemment : Comment tirer parti au maximum d'un combustible déterminé par l'application de la chaleur ?

Il n'est plus question ici de trouver la solution par quelques équations de chimie minérale. La matière première, la houille, est en réalité d'une complexité extrême, et l'on vient à peine d'en aborder l'étude. On se trouve naturellement dans le domaine de la chimie du carbone et des hydrocarbures dont les combinaisons se multiplient à l'infini, spécialement au cours d'un processus qui fait varier progressivement les conditions de température entre de larges limites.

Le problème du chauffage s'est révélé d'autre part aussi très difficile, par suite de la mauvaise conductibilité thermique du charbon et des modifications apportées dans la nature du combustible au cours de l'opération.

(*) Il n'est pas sans intérêt de noter que la combustion est une opération lente, et la carbonisation une opération rapide. Au laboratoire, la détermination de la teneur en cendres sur 1 gramme dure 30 min. ; la teneur en matières volatiles, 3 minutes.

Tableau V. — Carbonisation totale : Pourcentage des produits solides, liquides et gazeux suivant la teneur en matières volatiles du combustible (*).

	M. V. Goudron %	Gaz %	Coke %	Aspect du coke.	Eau amm. %	
Houilles sèches à longue flamme ou flambants, ou flénus secs.	40-50	15-18	20	50-60	Pulvérulent ou légèrement fritté.	5-12
Houilles grasses à longue flamme ou houilles à gaz, ou flénus gras	52-40	12-15	17-20	60-68	Aggloméré et souvent fondu, mais très fendillé.	5-5
Houilles grasses ou de forge	52-26	10-13	15-16	68-74	Fondu, moyennement compact, souvent boursoufflé.	1-3
Houilles grasses à courte flamme ou à coke (steam coal).	18-26	5-10	12-15	74-82	Fondu, très compact, peu fendillé.	1
Houilles maigres, ou de foyer, ou de Charleroi	10-18	2-5	8-12	82-90	Légèrement fritté, le plus souvent pulvérulent.	0-1
Anthracites	8-10	—	8-10	90-92	Pulvérulent et brillant, décrépitant parfois.	—

(*) Ch. Perthelot : « Les Houilles ».

On en est réduit à l'expérimentation et à suivre l'évolution des trois produits de la carbonisation avec l'élévation progressive de la température.

De ces produits, le coke métallurgique éclipse, sans conteste, tous les autres. C'est, en effet, celui qui a été fabriqué le premier, il y a près de trois siècles. Les grandes découvertes métallurgiques de Bessemer (1859), Martin (1865), Thomas (1879), consacrant le procédé indirect de fabrication de l'acier, donnèrent un essor formidable au haut fourneau et, parallèlement, au four à coke. Aujourd'hui, les grandes nations fabriquent le coke métallurgique par dizaines de millions de tonnes.

Ce n'est d'ailleurs pas uniquement le produit solide qui a fait la vogue de la cokéfaction : le goudron présente lui-même un intérêt extraordinaire, au point que l'on a pu écrire (4) avec raison, que la chimie aromatique n'aurait pu voir le jour si l'on avait débuté au siècle dernier par la carbonisation à basse température.

Le gaz est généralement utilisé pour le chauffage des fours, mais il présente actuellement une importance toute particulière comme source d'hydrogène à bon marché.

Il n'est donc pas étonnant que la carbonisation se soit longtemps identifiée avec la cokéfaction. Au point de vue technique, celle-ci représente d'ailleurs la forme la plus complète de carbonisation, celle qu'il faut considérer dans son ensemble afin de pouvoir situer les opérations pratiquées en vue de l'obtention d'autres produits.

1. — Evolution du produit solide.

Examinons d'abord à quelles conditions tout à fait exceptionnelles doit répondre le combustible de haut fourneau.

Chargé au gueulard avec la charge, il ne doit être brûlé qu'aux tuyères par le vent des soufflantes, c'est-à-dire 25 mètres plus bas. Sur ce trajet, il doit résister mécaniquement à l'écrasement et à l'abrasion; chimiquement, à l'oxydation et à l'action du CO_2 . Il doit donc être dur, cohérent, en gros morceaux, et avoir une teneur en matières volatiles aussi basse que possible (1 ou 2 %).

Ces deux conditions sont réunies dans l'anthracite, et celui-ci fut le principal combustible de haut fourneau employé aux Etats-Unis jusqu'en 1860. A cette date commença le développement de l'industrie cokière, et le coke supplanta l'anthracite, d'abord à cause de son plus bas prix de revient, ensuite à cause de sa texture cellulaire

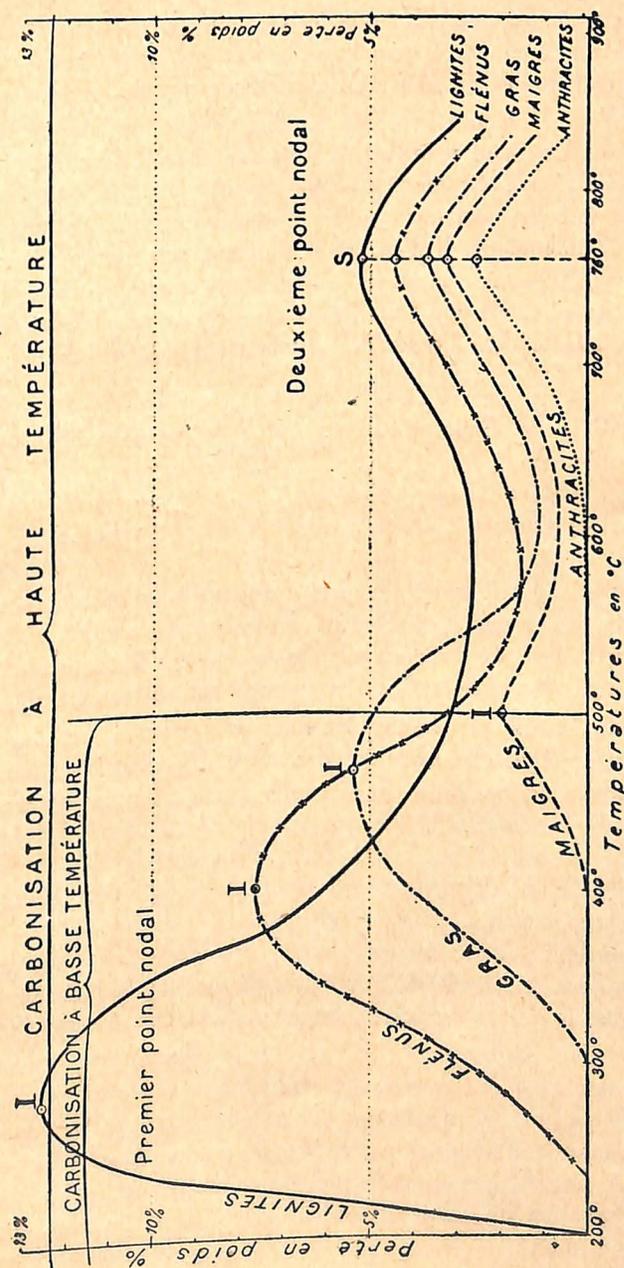


Fig. 1.

permettant une plus grande vitesse d'opération et une plus grande productivité du fourneau. Ce premier exemple de déplacement d'un combustible naturel par un combustible fabriqué doit retenir aujourd'hui l'attention des producteurs de charbons maigres.

Le tableau V montre que les houilles maigres et anthraciteuses donnent le plus grand rendement en résidu solide. En suite de cette circonstance et de la condition relative aux matières volatiles, il semblerait indiqué de partir de ces combustibles pour la fabrication du coke métallurgique. Il n'en est absolument rien, car la teneur en matières volatiles des charbons à coke est comprise d'une façon générale entre 18 et 35 %. Les cokes anglais se classent de la manière suivante dans l'ordre des résultats à l'essai de chute :

	M. V.
Pays de Galles	18—25 %
Durham	25—30 %
Yorkshire	30—35 %
Derbyshire	+35 %

On arrive donc à cette première constatation intéressante que la cokéfaction, processus d'épuisement des matières volatiles, a besoin d'un départ élevé en matières volatiles, malgré les frais qu'entraînent l'allongement de l'opération et l'emploi des hautes températures.

La raison en est que, partant de fines pulvérulentes, on doit satisfaire à la condition de cohérence par une phase d'agglomération qui est essentielle au point de conditionner le choix de la matière première et de la température de carbonisation.

L'étude de celle-ci comprend donc, du point de vue du résidu solide, l'étude du dégagement des matières volatiles et l'étude de la phase agglomérante.

Illingworth a donné un graphique, reproduit par M. Charles Demeure dans son étude de 1926 (5), et figurant la perte de poids (c'est-à-dire le débit gazeux) en fonction de la température (fig. 1).

On voit que ce dégagement ne s'opère pas d'une façon continue à mesure que croît la température, mais qu'il existe deux maxima successifs qui ont été appelés par Illingworth : « points nodaux ».

Le point nodal inférieur varie avec la nature du charbon, et se produit à une température d'autant plus basse que la teneur en matières volatiles de celui-ci est plus élevée. Il est toutefois toujours inférieur à 500°.

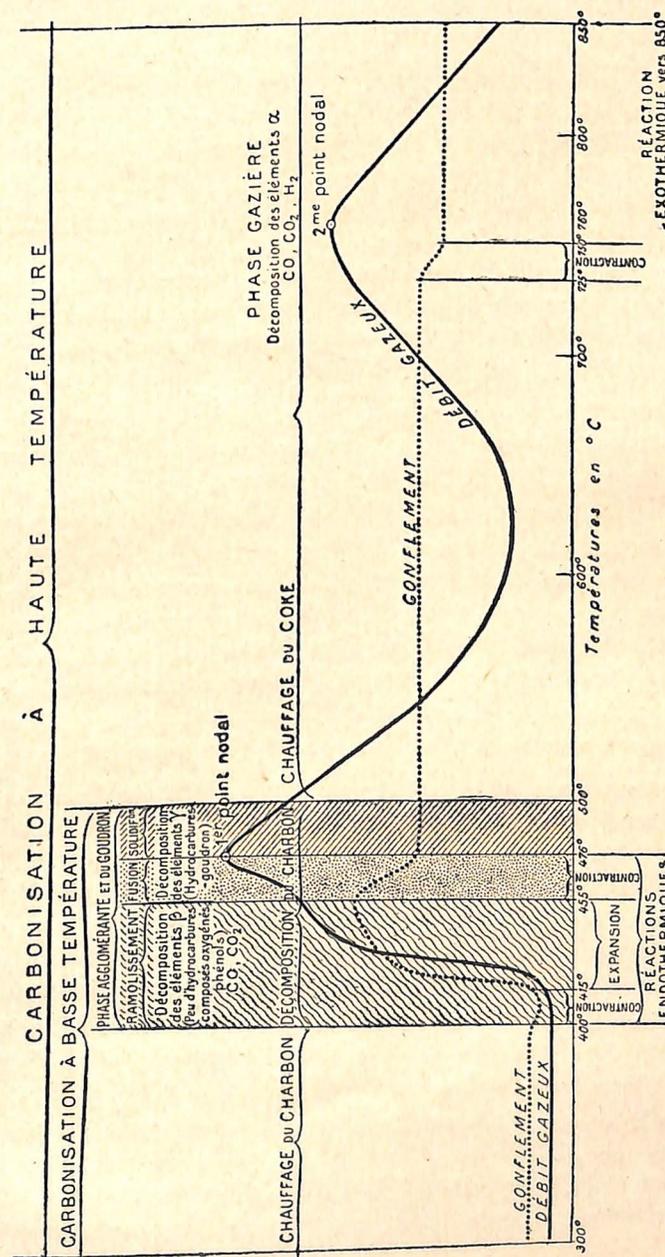


Fig. 2.

Le point nodal supérieur, au contraire, est pratiquement constant pour tous les charbons. Il se produit à la température d'environ 760°.

Les opérations qui visent à l'élimination totale des matières volatiles, comme la cokéfaction ou la fabrication du gaz d'éclairage, sont donc tenues de dépasser, dans le charbon, cette température. C'est ce qu'on a appelé la carbonisation à haute température, par opposition à celle qui s'arrête après le premier nodal et est qualifiée à basse température.

L'étude de la phase agglomérante (fig. 2) montre d'abord que celle-ci se place dans la région du premier point nodal et qu'elle s'étend sur une marge de température d'environ 100° (de 400° à 497° pour un charbon à 28,6 % de matières volatiles) (1).

Elle montre ensuite qu'on peut la subdiviser en une phase de ramollissement (de 400° à 450° dans le cas considéré plus haut), une phase de fusion (de 450° à 476°) et une phase de solidification (de 476° à 497°).

Le dégagement abondant de matières volatiles qui commence pendant la phase de ramollissement est d'abord contrarié par la viscosité de la masse, ce qui amène le gonflement de celle-ci. La viscosité diminuant jusqu'au moment où l'état liquide est atteint, le débit gazeux reprend vivement, ainsi que l'indique la courbe, tandis que le gonflement fait place brusquement à une contraction de volume, celui-ci ne revenant cependant pas à son niveau primitif.

La phase agglomérante résulte donc d'une véritable décomposition du charbon (*décomposition range, plastic range, fusion zone*) au delà de laquelle le coke est formé. Celui-ci résulte non seulement du départ des éléments volatils, mais d'un changement dans l'état physique du résidu solide, à la faveur duquel une cimentation des grains de charbon se produit, qui n'exclut pas nécessairement une texture cellulaire du nouveau produit. Une fois celui-ci formé, le chauffage se poursuit jusqu'à la température du second point nodal, où la teneur en matières volatiles s'abaisse à nouveau et tend vers sa valeur définitive.

Le coke ne paraît plus subir de transformation essentielle jusqu'à la fin du chauffage; cependant, une dernière contraction aurait lieu aux environs de 700°, celle qui facilite le défouement de la matière. La surchauffe prolongée (*overcoking*) amène d'autre part une cer-

taine graphitisation du carbone (*). Le dépôt de graphite argenté à la surface et dans les lignes de fracture du coke a une heureuse influence sur l'incombustibilité et la réactivité du combustible de haut fourneau.

Les meilleurs charbons à coke sont ceux qui donnent un coke dur et cohérent, même quand leur expansion sous l'action de la chaleur n'est pas contrariée, comme dans les anciens fours sans récupération.

Beaucoup de charbons gonflants ne donnent un coke satisfaisant que dans les fours étroits à récupération, grâce à la compression effectuée par les parois pendant le gonflement de la masse.

2. — Evolution du produit liquide.

La phase de dégagement du goudron se situe entre 300° et 450°. Les vapeurs goudronneuses sont donc formées par les matières volatiles dont le départ caractérise le premier point nodal.

La quantité de goudron récupérée dépend d'abord de la nature du combustible traité :

	Kgs de goudron par tonne de charbon.
Houilles à flammes	120
Houilles à gaz	80
Houilles grasses	35
Houilles maigres	15

Elle dépend aussi de la température. Déjà en 1865, Gesner publiait les résultats de la distillation du même charbon (30 % m. v.) à basse et à haute température :

	371-426°	1.200°
Gaz m ³ .	58	201
Goudron litres.	306	85
Coke kgs.	580	543

Il y a donc une température pour laquelle la quantité de goudron est maximum. Alors que le rendement moyen est de l'ordre de 2 % dans les cokeries, de 4 % dans les usines à gaz, il peut par exemple

(*) Le brevet Acheson pour la graphitisation des électrodes de carbone pour fours électriques, consiste à chauffer celles-ci à 2000° pendant vingt heures, à l'abri de l'air, par un courant de 15 à 20.000 ampères sous 80 volts.

atteindre 9 % du poids du combustible traité dans la carbonisation à basse température.

La raison en est que les hydrocarbures qui se dégagent les premiers sont des hydrocarbures lourds à chaînes ouvertes extrêmement sensibles à l'action de la chaleur. Dès que la température de 450°, bien connue dans les raffineries de pétrole brut, est dépassée, il y a craquage des hydrocarbures lourds et formation d'hydrocarbures à poids moléculaires plus légers avec dégagement d'hydrogène et de carbone. Il y a donc destruction de goudron au profit du gaz.

En même temps que la chaleur réduit la quantité de goudron, elle en change la nature. Les hydrocarbures aliphatiques non saturés se polymérisent pour donner les composés cycliques qui constituent le goudron à haute température.

À côté des hydrocarbures aliphatiques, les goudrons primaires renferment une proportion importante de phénols, alcools aromatiques à propriétés acides. Toutes les substances ligneuses donnant ces produits oxygénés à la distillation, il est vraisemblable qu'ici les phénols proviennent de la décomposition de constituants aromatiques du charbon (lignine). Par contre, en ce qui concerne les hydrocarbures, il paraît prouvé que les composés cycliques que l'on trouve dans le goudron à haute température ne préexistent pas dans le charbon.

Le goudron, tel qu'il est produit, renferme des hydrocarbures voisins de ceux du pétrole, des huiles légères sans benzols aromatiques, des huiles lourdes sans naphthaline ni anthracène, et c'est la décomposition pyrogénée qu'ils subissent dans l'appareil de carbonisation qui engendre les produits à structure benzénique.

3. — Evolution du produit gazeux.

Si l'on arrête la carbonisation après la température du premier point nodal, on trouve, mélangé aux vapeurs goudroneuses, un gaz caractérisé par sa forte proportion d'hydrocarbures lourds à grand pouvoir calorifique, et sa faible teneur en hydrogène. Il renferme aussi CO_2 , H_2S , CH_4 et, en moindres quantités, CO , H_2 et N_2 .

Son volume est de l'ordre de 50 à 100 m³ par tonne de combustible et son pouvoir calorifique, de 8 à 9.000 calories (bien entendu dans le cas de chauffage extérieur).

Si on prolonge la carbonisation jusqu'au second point nodal, le volume de gaz s'accroît jusqu'à 300 m³ par tonne, tant par suite du dégagement de matières volatiles qui se fait à cette température pres-

que exclusivement au bénéfice du gaz, que par la décomposition pyrogénée des éléments libérés aux environs du premier point nodal.

Ce gaz renferme les mêmes éléments que plus haut, mais en proportions réduites, sauf CO et H_2 dont les quantités ont été augmentées. Les hydrocarbures lourds ont été craqués par la chaleur, ce qui a fait tomber le pouvoir calorifique à 5.000 calories environ. L'hydrogène entre dans la composition du gaz pour la proportion énorme de 50 %, ce qui est l'indice de la destruction profonde que l'action prolongée de la chaleur a fait subir au combustible.

4. — Mécanisme de la carbonisation.

Après avoir décrit les divers phénomènes qui accompagnent l'élaboration des produits liquides, gazeux et solides, lors de l'application de la chaleur à un combustible déterminé, il importe de les examiner à la lumière des données que l'on possède sur la constitution des houilles en général.

Quand on traite celles-ci par des solvants organiques appropriés, elles se décomposent en substances qui se comportent diversement sous l'action de la chaleur, ce qui a permis de déduire le rôle de chacune d'elles dans le processus de carbonisation.

Cette méthode de fractionnement, mise au point en Angleterre par Jones et Wheeler, conduit à distinguer dans le charbon : des éléments α , insolubles dans la pyridine et le chloroforme; des éléments β solubles dans la pyridine, insolubles dans le chloroforme; des éléments γ solubles dans les deux réactifs.

Soumis à l'action de la chaleur, les éléments α sont infusibles; ils se décomposent vers 760°, pour ne donner pratiquement que des gaz CO , CO_2 et H_2 .

Les éléments β sont fusibles ou infusibles — les avis sont partagés — mais ils se décomposent en dessous de 500°, en donnant très peu d'hydrocarbures et surtout des gaz CO et CO_2 , et comme composants du goudron, les phénols.

Les éléments γ sont fusibles entre 400 et 500°. Ils dégagent en même temps une forte quantité de matières volatiles composées surtout d'hydrocarbures qui forment la plus grande partie du goudron.

Ces divers éléments proviennent évidemment des végétaux qui sont à l'origine de la formation de la houille. Si on explique cette formation par la théorie des lignines, la cellulose, enveloppe des tissus ligneux, est disparue par fermentations aérobies et anaérobies;

la lignine, substance à structure aromatique mal définie et caractérisée par le groupe méthoxyle OCH_3 , a subi une évolution qui a abouti aux éléments α et β ; les résines, qui sont des substances résultant de la polymérisation d'hydrocarbures non-saturés du type $(\text{C}_n\text{H}_{2n})_m$, ont traversé les âges géologiques sans modifications profondes et ont donné naissance aux éléments γ .

Le tableau VI permet de se faire une idée de la répartition des éléments α , β , γ dans différents charbons, de leur teneur en matières volatiles et de leur indice d'agglutination :

Tableau VI. — Répartition des éléments α , β et γ dans les charbons. (6) et (7)

	Pourcent. %	M.V. %	Indice d'agglutinat.		
Charbon du Lancashire «Wigan Arley».	—	32,7	7		
α	82,4	30,1	1		
β	12,8	35,6	6		
γ	7,8	80,5	55		
Charbon du Lancashire «Mountain Mine»	—	26,5	13		
α	80,6	23,1	1		
β	13,5	29,6	11		
γ	7,5	70,8	65		
Charbon du Durham «Londonderry».	—	30,8	23		
α	73,5	26,2	0		
β	20,1	30,3	18		
γ	8,2	70,2	80		
Charbon de Winterslag :					
	α	β	γ		
Charbon	—	—	—	19,62	15
Vitrain	95,17	1,2	3,63	21,31	19
Durain	96,14	0,78	3,08	17,48	7
Fusain	95,46	1,8	2,73	15,97	—
Charbon d'André-Dumont :					
Charbon	—	—	—	27,30	17
Vitrain	78,37	7,98	13,65	29,70	—
Durain	88,69	3,23	8,08	26,65	10
Fusain	93,79	1,32	4,88	13,96	3,5

On déduit des chiffres ci-dessus que les éléments α forment la plus grande partie du charbon et des composants macroscopiques de celui-ci. Leur teneur en matières volatiles est du même ordre (un peu inférieure) que celle du charbon. Leur indice d'agglutination est nul.

Les éléments γ dans les charbons cokéfiant n'entrent que pour 5 à 10 %, mais leur teneur en matières volatiles va de 70 à 80 %, et leur indice d'agglutination de 55 à 80.

Les éléments γ jouent donc un rôle capital dans la carbonisation, en raison de leur fusibilité, de leur caractère agglutinant et de leur richesse en substances goudroneuses.

En fait, pendant longtemps, ils ont été considérés comme les seuls agents actifs d'agglomération. L'hypothèse la plus simple à émettre sur le mécanisme de l'agglomération est, en effet, que les éléments γ (et peut être les éléments β), fusibles, fondent à un certain stade du chauffage, cimentent les éléments infusibles α et, l'élévation de température continuant, se solidifient. C'est celle à laquelle est ralliée la plupart des expérimentateurs anglais.

M. Audibert (9) avait cru pouvoir contester cette manière de voir, parce que l'examen microscopique de pastilles de coke trempées à l'eau décelait un milieu homogène. Il en concluait que c'était toute la masse du charbon qui fondait. A la suite de travaux ultérieurs, le savant français fut amené à être beaucoup moins affirmatif et, sans toutefois se rallier à la théorie de la cimentation, à abandonner l'idée de la fusion totale.

On peut encore citer la conception de Beilby, reprise par Bradley et Mott, attribuant un rôle à la tension superficielle des pellicules de goudron dégagées des particules de charbon et enrobant celles-ci. L'agglomération amorcée par la force de tension, résulterait du craquage des films de goudron fournissant un brai et ultérieurement un carbone de cimentation.

Quoi qu'il en soit, il paraît établi aujourd'hui que les éléments γ ne sont pas les seuls à jouer un rôle actif dans l'agglomération.

Les travaux de Foxwell ont montré qu'il n'y a pas proportionnalité entre les variations de la plasticité et celles de la teneur en éléments γ .

Des faits d'expérience de laboratoire ou de la pratique industrielle sont venus montrer qu'à côté du rôle agglutinant de la partie fusible, le caractère de la partie infusible du charbon était d'égale importance. Barash (7) en cite plusieurs. Un stock de 3.000 tonnes de char-

bon à coke de Durham, laissé exposé à l'air 18 mois dans le parc d'une usine à gaz, ne donne plus, après ce temps, qu'un coke friable de mauvaise qualité. Cependant, le charbon altéré donne, à la pyridine, un extrait de 22 %, dont l'indice d'agglutination est 19. Du charbon de fraîche extraction présentant ces caractéristiques donne invariablement du bon coke.

On a d'ailleurs pu suivre l'action de l'air et du temps sur deux charbons cokéfiantes du Lancashire.

Temps.	Indices d'agglutination.	
	Charbon à 52,7 % M.V.	Charbon à 26,5 % M.V.
Fraîche extraction	7	13
Après 3 mois d'exposition à l'air . . .	6	12
» 6 » » »	5	11
» 12 » » »	4	9
» 24 » » »	2	6

Les indices d'agglutination sont réduits dans un cas des deux tiers, dans l'autre, de moitié, alors que les extraits à la pyridine n'accusent pas de modifications sensibles soit en pourcentage, soit en qualité agglutinante :

	Pourcent.	Indice	Pourcent.	Indice
	%	d'aggl.	%	d'aggl.
Fraîche extraction	19,3	25	20,5	50
Après 2 ans	19,9	20	21,7	42

L'exposition à l'air (*weathering*) n'est d'ailleurs pas la seule manière de détruire le pouvoir cokéfiant des charbons à coke.

Le préchauffage à 200° pendant 3 heures, le traitement par des réactifs soit organiques, soit minéraux, aboutissent au même résultat sans altérer sérieusement les éléments γ .

Il faut donc bien admettre que les éléments α , jadis qualifiés d'« inertes » par rapport à l'agglomération, jouent un rôle qui est loin d'être négligeable dans celle-ci.

Des expériences d'un autre ordre conduisent d'ailleurs à la même conclusion. Si, avec le même agglutinant, on lie des « matières inertes » différentes : coke, anthracite, carbone d'électrode, de cor-

nue, etc., on obtient des valeurs différentes pour les indices d'agglutination.

Enfin, on a remarqué, en faisant des mélanges de charbons, que des charbons non-cokéfiantes pouvaient réduire la plasticité d'un mélange beaucoup plus fortement qu'une matière absolument inerte, ce qui a conduit à la conception des propriétés agglutinantes négatives.

Par exemple, le charbon « Wigan Arley », du tableau VI (32,7 % M.V., indice 7), chloriné pendant 5 minutes, donne un indice 0. Si on le mélange après traitement avec le charbon primitif, l'indice devient 2, quoique le mélange de deux charbons non-traités donnent invariablement le pouvoir agglutinant moyen et la teneur en matières volatiles moyenne des deux composants.

Les données sur le rôle de chacun des éléments contribuent à élargir la notion du pouvoir cokéfiant. Du moment que les éléments α jouent dans la carbonisation un rôle aussi important que les éléments γ , il devient aussi légitime, dans un mélange à 50 % de charbon à gaz et 50 % de charbon maigre, de parler de la cokéfaction des fines maigres que de la cokéfaction des fines grasses.

Si maintenant nous nous reportons au graphique de la figure 2, nous comprenons mieux la succession des divers phénomènes auxquels l'action de la chaleur sur le combustible choisi donne lieu, et notamment les températures qui caractérisent les deux points nodaux.

Le premier correspond à la décomposition des éléments β et γ , ce qui fixe la température en dessous de 500°, et la nature du dégagement (gaz et vapeurs goudronneuses). Comme nous l'avons vu plus haut, les différents stades de la phase d'agglomération s'expliquent par la fusibilité et le caractère agglutinant des éléments γ .

Le second point nodal correspond exclusivement à la décomposition des éléments α , ce qui place sa température vers 760°, et donne à son débit un caractère entièrement gazeux.

De tout ce qui vient d'être exposé, nous retenons comme essentiel que la carbonisation totale, mode de fabrication du coke de haut fourneau en partant de fines pulvérulentes, comprend une phase agglomérante et une phase d'épuisement des matières volatiles, la première située entre 4 et 500°, la seconde, beaucoup plus longue et comportant deux zones, l'une se superposant à la phase agglomérante, l'autre se situant vers 760°.

Le départ élevé en matières volatiles dans le combustible crû tient exclusivement à la considération de l'agglutinant. On recherche les

charbons dans lesquels celui-ci existe en quantité convenable (entre 5 et 10 %) pour l'agglomération.

Mais l'agglutinant à bon marché oblige, en contrepartie, à une opération longue et coûteuse pour l'élimination des matières volatiles indésirables dans le produit fabriqué.

La fabrication simultanée de produits liquides et gazeux compense toutefois les frais supplémentaires nécessités par la fabrication du produit solide.

5. — Le problème du chauffage.

La carbonisation, procédé de traitement thermique des charbons, est avant tout un problème de chauffage, et celui-ci est confronté avec une difficulté primordiale : la mauvaise conductibilité thermique du carbone. Celle-ci n'est pas supérieure à celle de certains calorifuges comme le papier, le bouchon, la terre d'infusoires, etc.

Par contre, la carbonisation est un procédé de fabrication de produits. Le problème du chauffage ne doit donc pas être traité du seul point de vue thermique.

Quand on envisage la qualité des produits, il est hors de doute que le véritable système de chauffage pour carboniser est le chauffage externe, qui est d'ailleurs exclusivement pratiqué dans la carbonisation à haute température. Il s'agit donc de concilier ce système avec les propriétés calorifuges du charbon pour obtenir des résultats industriels.

La loi d'Ohm est valable non seulement pour le flux électrique et le flux magnétique, mais aussi pour le flux de chaleur à travers un corps solide, la différence de température sur les deux faces jouant le même rôle que la différence de potentiel ou la force électromagnétique, et la résistivité thermique trouvant son analogie dans la résistivité électrique ou la réluctance.

Sous forme différentielle, l'équation du transfert de la chaleur par conduction s'écrit :

$$\frac{dQ}{dt} = k \frac{dT}{de}$$

où k est la conductibilité thermique et e l'épaisseur du corps.

Cette équation n'est pas susceptible d'intégration simple, car k est fonction de la température et de l'état physique du solide qui change continuellement.

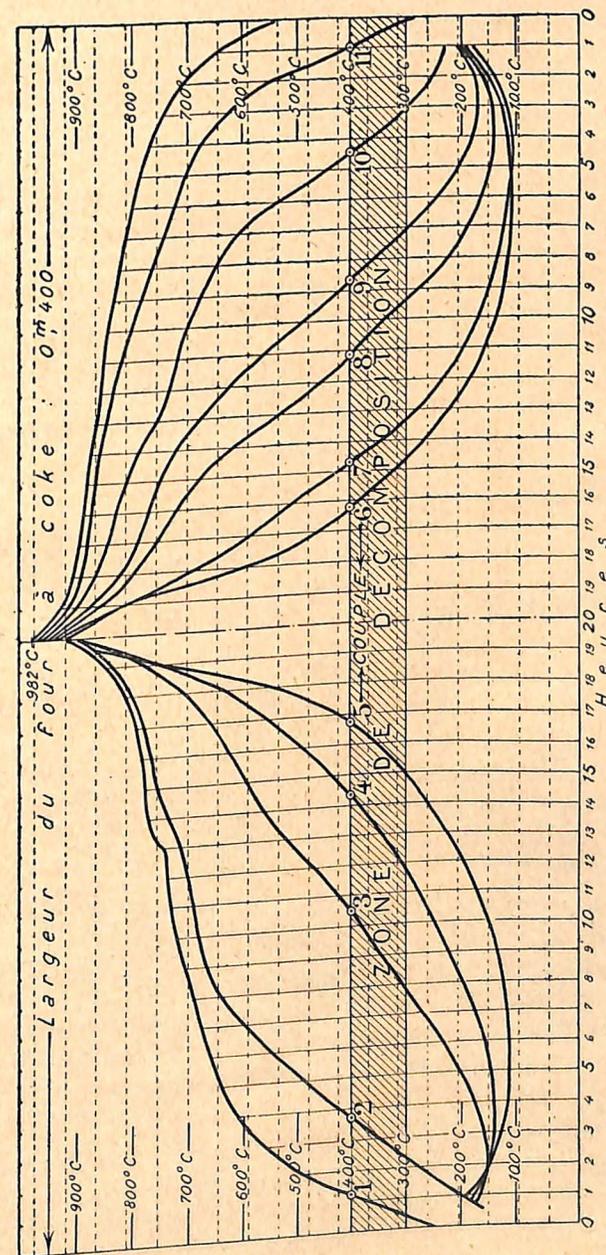


Fig. 3.

D'autre part, le transfert de chaleur ne se fait pas uniquement par conduction, mais aussi par convection, grâce à la vapeur d'eau, aux vapeurs goudroneuses et aux gaz dégagés. Enfin, des réactions endothermiques prennent place dans la zone de décomposition, et cette complexité rend ardue, si pas impossible, l'étude mathématique du problème.

Mais on déduit de la relation ci-dessus que la quantité de chaleur qui traverse une certaine épaisseur e d'un corps est proportionnelle à la différence des températures séparées par cette épaisseur, proportionnelle à la conductibilité thermique, et inversement proportionnelle à l'épaisseur e .

Il en résulte, puisque k est une donnée et est très faible, que pour obtenir un rendement et une productivité industriels de la carbonisation, il faut augmenter le plus possible la différence des températures et travailler sur des épaisseurs réduites.

L'évolution du four à coke en vue d'accroître les charges et de réduire la durée de l'opération s'est faite en augmentant graduellement la longueur et la hauteur des fours, ainsi que la température dans les cameaux, mais la largeur est restée pratiquement la même et de l'ordre de 400 millimètres. Les plus grands fours du monde, au Charbonnage Nordstem, près de Gelsenkirchen, mesurent 13 m. \times 6 m. \times 0^m,40 et carbonisent en 15 à 16 heures, la température dans les cameaux atteignant 1.450°.

Les courbes temps-température de la figure 3, relevées directement sur un four d'expérimentation (8) à l'aide de 12 thermo-couples espacés dans l'épaisseur de charbon (0^m,40), montrent que la vitesse moyenne de déplacement de la zone de fusion est de l'ordre de un centimètre par heure.

Dans la région des basses températures, la difficulté de forcer le passage de la chaleur en un temps suffisamment court devient très grande, et l'on est réduit à n'appliquer la chaleur qu'à des épaisseurs de 70 millimètres au maximum. Il s'agit, bien entendu, de la fabrication du semi-coke dur et aggloméré, ayant besoin d'utiliser les dilatations et contractions du charbon en chambres étroites pour obtenir la cohésion.

C'est là le gros écueil des usines à semi-coke, dont la production ne dépasse guère jusqu'ici 100 tonnes par jour, alors que les batteries modernes de fours à coke comportent en moyenne 130 fours de 12^m,50 \times 4 m. \times 0^m,35 et produisent 2.600 tonnes journellement.

Financièrement parlant, cette infériorité se traduit par une dépense en frais de premier établissement par tonne/jour qui, pour certains procédés, ont été du même ordre que pour la carbonisation à haute température, malgré la simplification résultant de l'abandon du four Siemens à réchauffage d'air, et malgré le raccourcissement considérable de l'opération.

Il est juste de dire que l'on compare de la sorte des appareils nouveaux à un type de four évolué, bien près d'atteindre la perfection, et pour la construction duquel les entreprises n'hésitent pas à dépenser aujourd'hui 150 ou 200 millions.

Dans la carbonisation à basse température, le chauffage externe pratiqué dans les fours à coke ne peut donner des résultats industriels sans dispositions spéciales.

A l'usine à gaz de Pontypridd, Illingworth commença par chauffer extérieurement des chambres en réfractaires de 2^m,85 \times 2^m,40 \times 0^m,35. L'opération durait 28 heures. Ce temps a pu être ramené à 5 heures ou 5 heures 30' en empilant dans les chambres des pièces en fonte juxtaposées et laissant des vides dans lesquels le charbon était introduit.

L'emploi des cornues, des voûtes, des parois, etc., métalliques, assurant une meilleure transmission de la chaleur, s'est généralisé, d'autant plus que les ennuis éprouvés au début ont été supprimés par la création des fontes et des aciers réfractaires. Dans le procédé de carbonisation Thyssen, par four rotatif, à chauffage externe, le rendement thermique serait ainsi de 90 %, c'est-à-dire à peu près du même ordre que le rendement du chauffage interne.

Celui-ci est séduisant par son haut rendement et par sa grande productivité. Mais il présente de sérieux inconvénients, parce qu'il interfère avec la fabrication des produits.

Le fluide chauffant ne doit pas être oxydant et sa température ne doit pas dépasser 700°, ce qui peut nécessiter un réchauffage préalable (gaz de gazogène à marche alternée ou gaz de distillation refroidi pour condensation du goudron) ou un refroidissement (gaz de combustion). Les produits gazeux et goudroneux de la carbonisation sont salis par les poussières et dilués dans la masse énorme du gaz de chauffage, ce qui complique les installations d'emmagasinement et les opérations d'épuration, de séparation, etc. Le gaz n'a plus les qualités du gaz de carbonisation à basse température. Il a perdu son haut pouvoir calorifique et on doit en écouler de

grandes quantités comme gaz de four et non plus comme agent d'enrichissement du gaz de ville. A titre d'exemples, le procédé de la Midland Coal Products Ltd., à chauffage interne, produisait, par tonne de combustible, 1.508 m³ de gaz à 1.785 calories, vendu à 4,88 centimes les 1.000 calories, tandis que le procédé de la Low Temperature Carbonisation Ltd., à chauffage externe, produisait, dans les mêmes conditions, 158 m³ d'un gaz à 6.880 calories vendu à 9,70 centimes les 1.000 calories.

L'emploi de la vapeur surchauffée pour le chauffage interne présente des avantages qui ont souvent été utilisés : elle n'est pas oxydante et sa température peut être ajustée aisément, ce qui évite les craquages locaux d'hydrocarbures lors de leur dégagement. Le volume nécessaire est réduit, ce qui facilite le traitement ultérieur de la fraction gazeuse.

Malheureusement, la séparation du goudron primaire de densité sensiblement égale peut donner lieu à des difficultés, par suite des émulsions que forme avec les huiles la vapeur condensée. Fischer a indiqué la saturation de l'eau par le sel marin, suivi d'une centrifugation, comme moyen de séparation.

Le procédé de chauffage interne à la vapeur a été employé pour la distillation des agglomérés de houilles grasses (9), notamment aux Mines de Nœux.

Pour faciliter la pénétration de la chaleur dans le combustible, on peut diviser celui-ci et le mettre en mouvement. Ce principe est indiqué quand le semi-coke peut être pulvérulent (fabrication du semi-coke au four rotatif en vue de la production du gaz à l'eau). Rappelons que le procédé Mac Ewen-Runge, consistant à laisser tomber du charbon pulvérisé du haut d'une tour de 10 mètres de hauteur dans un gaz chaud ascensionnel, carbonisait en 35 secondes.

Un autre moyen particulièrement intéressant, qui satisfait à la fois aux conditions d'utiliser des fines, d'employer le chauffage interne et d'appliquer la chaleur sur des épaisseurs réduites, est l'agglomération préalable.

Divers procédés utilisant des houilles grasses n'ont pas hésité à y recourir et à carboniser le charbon sous forme de boulets (Midland Coal Products Ltd., Pieters, Nœux). Mais le chauffage doit alors suivre une loi déterminée si l'on veut éviter la déformation et même l'éclatement des boulets (élévation très lente de la température à travers la zone de décomposition) (10).

Cet inconvénient n'existe évidemment pas pour le chauffage de boulets fabriqués en partant de fines maigres, et le principe de l'agglomération préalable présente pour ce genre de charbon des possibilités que nous examinerons plus loin.

LA FABRICATION DES COMBUSTIBLES DOMESTIQUES

La fabrication des combustibles domestiques, comme la fabrication du combustible de haut fourneau, revient à carboniser pour le produit solide, mais en visant à obtenir des propriétés différentes.

Le combustible domestique ou anthracite de remplacement doit brûler sans fumée (*smokeless fuel*) et il doit s'allumer sans difficulté. La première condition limite vers le haut sa teneur en matières volatiles à 15 %; la seconde la limite vers le bas à 7 ou 8 %.

Il doit être dur et résistant, mais uniquement pour supporter sans dommage les manipulations et le transport. Il n'est plus question ici des conditions exceptionnelles requises pour le coke de haut fourneau : grande résistance mécanique, incombustibilité, réactivité, porosité.

Par contre, le combustible domestique fabriqué doit avoir une tenue au feu satisfaisante; il ne doit ni brûler trop rapidement, ni donner lieu à des extinctions fréquentes, mais maintenir une régularité absolue de la combustion pendant 12 heures au moins.

Une fois la teneur en matières volatiles fixée, quelles vont être, d'après ce que nous savons de la carbonisation, les chances des différents concurrents, partant par exemple de charbons à 35 %, à 20 % et à 11 % de matières volatiles ?

Il y a d'abord la différence de prix des fines, à égalité de cendres et d'origine : poussier brut, poussier lavé et séché, poussier nettoyé à sec, poussier de concassage; normalement, le poussier maigre est le meilleur marché.

En second lieu, pour laisser 7 % de matières volatiles dans le combustible fabriqué, le premier concurrent doit en éliminer 28 %, le second 13 % et le troisième 4 %. Comme la dépense en calories est proportionnelle à l'épuisement en matières volatiles, l'opération est encore à l'avantage des charbons maigres.

L'ajustement des matières volatiles étant effectué, il y a à satisfaire à la condition d'agglutination puisque, par hypothèse, on part dans les trois cas de poussières ou de fines.

Le premier concurrent a trop de matières agglutinantes, le second en a suffisamment, le troisième n'en a pas assez et doit en ajouter. Un premier moyen est d'ajouter en mélange au charbon maigre une proportion convenable d'un des deux autres charbons. Mais de cette façon, on ajoute, avec l'agglutinant nécessaire, des matières volatiles qui ne le sont pas, et dont l'épuisement allonge inutilement l'opération thermique.

Un second moyen, plus intéressant, est d'incorporer l'agglutinant avec le moins possible de matières volatiles, et l'une des matières susceptibles de fournir ce résultat est le brai, le mode opératoire étant celui de l'agglomération préalable à la carbonisation, pratiquée — dans un autre but — par les producteurs de houilles grasses.

Le brai, résidu de la distillation des goudrons au-dessus de 300°, a été étudié au moyen de solvants organiques par Auguste Lemoine, qui a publié à Charleroi, en 1902, un des rares travaux originaux sur la matière : « *Sur les connaissances des brais minéraux* »

En employant le sulfure de carbone et l'acétone, Lemoine a séparé le brai en trois produits : les « matières inertes », les carbènes et les carbures, dans lesquels il est impossible de ne pas voir une analogie avec les éléments α , β , γ du charbon. Toutefois, les proportions de ces éléments et les températures de fusion ne sont pas du même ordre.

Les carbures, substances collantes, plastiques et adhésives, fondent entre 45 et 60°; les carbènes, substances durcissantes, permettent la solidification et la dureté du brai aux températures ordinaires. Ils ramollissent et fondent vers 200°.

Un brai de goudron de basse température (Langerbrugge), à 65,9 % de matières volatiles, a donné à l'essai Lemoine :

Matières « inertes »	37 %
Carbènes	2,4 %
Carbures	60,6 %

Par sa grande proportion en éléments collants à bas point de fusion, le brai est donc un agent d'agglutination supérieur aux éléments γ des charbons gras.

Pour les producteurs de charbon maigre, la fabrication des combustibles domestiques vient donc se greffer, d'une manière très simple, sur une industrie connue, pour laquelle les installations sont déjà existantes dans beaucoup de charbonnages : la fabrication des ovoïdes.

Il suffit de compléter celle-ci par un passage des boulets au four, afin d'obtenir la décomposition des éléments fusibles du brai, faire du boulet un combustible sans fumée, et transformer l'agglomération ordinaire au brai (résistance des boulets de 45 grammes : 157 kgs) en une cimentation à chaud par le carbone (résistance : 212 kgs).

Il n'est plus question ici de distillation, ni de semi-cokéfaction, ni de cokéfaction. Deux boulets de même fabrication, à 15 % de matières volatiles, chauffés pendant 6 heures par un procédé, et 48 heures par un autre procédé, voient dans les deux cas leur teneur en matières volatiles réduite à 5 ou 6 %. Les deux cassures sont pratiquement les mêmes, la seconde présentant peut-être un aspect plus argenté, grâce à la graphitisation. Celle-ci a augmenté encore la dureté, mais la dépense est bien inutile, puisque la cohésion du boulet cuit pendant 6 heures est déjà plus que suffisante pour les usages domestiques.

Cette durée de 6 heures est elle-même fortement exagérée, car l'action de la chaleur est réduite à sa plus simple expression, l'épuisement en matières volatiles étant faible et la carbonisation étant limitée à la phase agglomérante.

En résumé, la fabrication de combustibles domestiques, en partant de poussier à 11 % de matières volatiles, peut se concevoir d'après le schéma ci-dessous :

La teneur en cendres sera la plus faible possible. Le poussier sera nettoyé à sec, ou lavé jusqu'aux teneurs les plus basses réalisables par les procédés connus. Dans le cas du lavage à l'eau, le produit lavé sera séché avant agglomération. Eventuellement, le poussier de concassage trouvera son emploi.

L'agglomération se fera avec 8 % de brai (à 65 % de M. V.), la teneur en matières volatiles de l'ovoïde étant ainsi 15,52 %.

Il y aura une grosseur d'ovoïde par catégorie domestique, de façon à avoir un prix de vente uniforme pour chaque fabrication.

Un four approprié ne doit pas donner de déchets à la cuisson, et dans ces conditions, on doit récupérer, par tonne d'ovoïdes crus, 850 kilogrammes d'ovoïdes cuits.

Les quantités des autres produits, gaz et goudron, sont très faibles, comparées à celles obtenues par le traitement de charbons gras. Elles sont cependant susceptibles de trouver des emplois intéressants.

Des essais effectués au four Illingworth sur des charbons français à 15 % de matières volatiles ont donné, par tonne et par pourcent de matières volatiles éliminées : 1,7 litre de goudron et 13 m³ de gaz à 5.500 calories.

La cuisson des boulets éliminant environ 8 % de matières volatiles (15,32 — 7), on peut, par une première approximation, et en attendant des résultats d'expérimentation semi-industrielle, tabler dans le cas qui nous occupe sur une production de :

$$1,7 \times 8 = 13,6 \text{ litres de goudron par tonne;} \\ 13 \times 8 = 104 \text{ m}^3 \text{ de gaz renfermant } 572.000 \text{ calories.}$$

La carbonisation à basse température exigeant en moyenne une dépense de l'ordre de 500.000 calories, on en déduit que la quantité de gaz produite suffira à chauffer le four.

Le goudron peut être vendu brut pour l'asphaltage des routes, en mélange avec le goudron de haute température, tant que les quantités à vendre sont minimales. Autrement, on aura à chercher un débouché dans les pays qui ont déjà des distilleries de goudron primaire, ou créer cette industrie chez nous.

Un autre emploi qui paraît indiqué dans la cuisson d'agglomérés est le traitement du goudron pour la récupération du brai.

Si, dans le four, on prend soin de décomposer le brai d'abord, à une température de 250 à 300°, la quantité récupérable par distillation du goudron serait de l'ordre de 75 %, soit par tonne :

$$80 \times 0,75 = 60 \text{ kgs de brai.}$$

Les 13,6 litres de goudron dus à la décomposition du charbon pourraient donner, de leur côté, 35 % de brai de densité 1,2, soit :

$$13,6 \times 0,35 \times 1,2 = 5,75 \text{ kgs de brai.}$$

La récupération fournirait ainsi :

$$60 + 5,75 = 65,75 \text{ kgs de brai,}$$

c'est-à-dire que l'agglomération d'une tonne de poussier n'exigerait que le complément :

$$80 - 65,75 = 14,25 \text{ kgs de brai environ.}$$

La distillation du goudron se fera en une chauffe à 300-320°, la fraction liquide étant vendue comme mazout.

Tableau VII. — Fabrication des combustibles domestiques.

SEMI-COKE

Nature des charbons ou mélanges traités :

50 % Campine (fines lavées 0-10) :	
M. V.	23,10 %
Cendres	7,50 %
50 % Basse-Sambre :	
M. V.	11,20 %
Cendres	12,50 %
	Mélange : 17,75 % M. V.
50 % Campine (fines 0-10) :	
M. V.	29,50 %
Cendres	7,60 %
50 % Cardiff (poussier) :	
M. V.	8,95 %
Cendres	4,10 %
	Mélange : 19,22 % M. V.
Borinage (fines lavées 0-8) :	
M. V.	28,16 %
Cendres	8,85 %
Centre (fines lavées 0-10) :	
M. V.	32,05 %
Cendres	8,17 %
Borinage (poussier de cyclone) :	
M. V.	23,43 %
Cendres	23,02 %
Campine (fines lavées 0-10) :	
M. V.	29,50 %
Cendres	7,60 %

BOULETS CUITS

	Charleroi.		Basse-Sambre.		Basse-Sambre.	
	Crus	Cuits	Crus	Cuits	Crus	Cuits
M. V.	15,59	9,25	14,25	7,90	15,05	7,35
Cendres	8,35	10,60	12,05	11,20	10,65	10,95

	Liège anthr.		Liège 1/2 gras.	
	Crus	Cuits	Crus	Cuits
M. V.	12,50	9,50	15,20	14,30
Cendres	10,40	9,75	7,90	7,40

Piccolos de 15 grammes (Hollandais) :

	Crus		Cuits	
	M. V.	15,53	8,10	
Cendres	9,25	6,90		

BOULETS DISTILLES

Boulets anglais de 60 grammes :

	Crus		Cuits	
	M. V.	34,75	2,18	
Cendres	4,77	9,28		

CONCLUSIONS

Au point de vue marché intérieur, la carbonisation à basse température ne peut actuellement qu'ajouter aux difficultés des producteurs de charbons domestiques (55 % du Royaume, 70 % du Vieux Bassin, 90,3 % du Bassin de Charleroi, 93,5 % du Bassin de Liège), en permettant aux producteurs de charbons à gaz et à coke d'intervenir sur le marché des domestiques.

Au point de vue marché extérieur, elle tend à supprimer les exportations vers les pays dépourvus d'anthracites par la nature.

Pour se défendre contre l'invasion du petit-coke, du semi-coke et des boulets distillés, les producteurs de charbons maigres et demi-gras doivent fabriquer eux-mêmes des combustibles domestiques à meilleur marché que les produits fabriqués par leurs concurrents.

L'agglomération des fines au brai, en ovoïdes de grosseurs diverses (correspondant aux principales catégories domestiques), préalable à la carbonisation, apparaît susceptible de donner ce résultat.

L'opération est, en effet, alors réduite à la phase agglomérante, et à la fin de celle-ci, la teneur en matières volatiles est ajustée, circonstances qui postulent une opération rapide et peu coûteuse, comparée au processus nécessaire avec les charbons à hautes teneurs en matières volatiles.

La valorisation des fines résultant de cette fabrication est de nature, d'autre part, à compenser l'avalissement des prix des catégories domestiques les plus chères et à rétablir l'équilibre du prix de vente moyen des charbonnages à charbons maigres et demi-gras.

Charleroi, 4 juin 1936.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Eug. Mertens, Professeur à l'Université de Louvain : « La Distillation de la Houille à Basse Température ». Mars 1933.
 - (2) Vigier : « La Fabrication du coke et du semi-coke en France », Mémoire au Congrès des Mines de Paris, octobre 1935.
 - (3) Léon Hoyois, Directeur-gérant de la Société Anonyme des Houillères Unies à Gilly : « Examen de la situation des Charbonnages du Bassin de Charleroi producteurs de charbons maigres en janvier 1934 ».
 - (4) Dr. Paul Ferrero : « Introduction à la valorisation chimique du charbon », Mons 1933.
 - (5) Charles Demeure, Professeur à l'Université de Louvain : « La Carbonisation à Basse Température », *Annales des Mines*, tome XXVII, 2^e livraison.
 - (6) O. De Booseré : « Sur les constituants macroscopiques des charbons campinois ». *Annales des Mines*, tome XXVII (1926), 2^e livr.
 - (7) M. Barash, M. SC. (Tech.), F.I.C. : « The Coking of Coal », *Journal of the Society of Chemical Industry*, July 12, 1929.
 - (8) William P. Ryan : « Rate of Travel of Fusion Zone in Coke Ovens », *Publications from the Massachusetts Institute of Technology*.
 - (9) E. Audibert : « A Contribution to the Study of the Mechanism of the Carbonisation of Coal », *Fuel*, May 1929.
 - (10) Paul Weiss, Directeur honoraire des Mines : « Distillation à Basse Température des Agglomérés de Houille ». *Chimie et Industrie*, février 1928.
- Burke, Schumann and Parry : « The Physics of Coal Carbonisation », *Fuel*, April 1931.
- Bradley and Mott : « Assessing the value of coking coals », *Transactions of the Institution of Mining Engineers*, vol. LXXVI.
- E. Connerade, Professeur à l'Ecole des Mines et de Métallurgie de Mons : « L'Etude Scientifique du Charbon », *Annales des Mines*, tome XXIV, 2^e et 3^e livraisons, 1923.
- M. Legraye, Professeur à l'Université de Liège : « Variations du Dégagement gazeux par Préchauffage dans des Charbons à Différents Stades d'Evolution ».
- A. Demanche : « Les Brais et l'Agglomération des Charbons », Mémoire au Congrès de Liège, 1922.