

Indépendamment des coupures et des dérangements, le tir en parties réglées de longues tailles ne sera pas indiqué s'il risque de devenir un tir d'éboulement qui peut tendre à amorcer des manifestations pendant le travail de déblayage.

Bref, le tir n'est pas le remède infaillible et il faut éviter, sous prétexte de son emploi, de se départir des règles de prudence ordinaires, mis à part les sondages de saignée qui n'ont plus de raison d'être en l'espèce.

Il va de soi que son emploi comme procédé d'exploitation ne se justifie qu'en ouvrages suspects de dégagements et ne peut se généraliser sans tenir compte de ce que l'usage de l'explosif présente toujours des dangers propres.

LA CARBONISATION

DES

Combustibles solides à basse température

PAR

H. VERDINNE

Ingénieur-divisionnaire aux Charbonnages Réunis.

Introduction.

Quand on chauffe de la houille à une température suffisante et à l'abri de l'air, elle subit des modifications importantes: un gaz combustible se dégage, chargé de vapeurs qui, condensées, donnent un goudron, et il reste un résidu solide, combustible à son tour mais à propriétés nouvelles, que l'on appelle *coke* (de « coked coal », charbon cuit).

Cette simple opération de cuisson est à la base de deux industries aujourd'hui centenaires: la fabrication du coke métallurgique et la fabrication du gaz d'éclairage.

Dans la première, le coke est le produit en vue, le gaz et le goudron des produits accessoires; la température de carbonisation est de l'ordre de 650°. Dans la seconde, le gaz est le produit principal, le coke et le goudron, des sous-produits; la température est de l'ordre de 1.000°.

Si l'on imagine maintenant que l'on veuille carboniser en vue du goudron, le coke et le gaz étant considérés comme sous-produits, et que l'on cherche à déterminer les conditions les plus favorables à cette fabrication, on constate:

1° qu'il existe une température, de l'ordre de 400°, qualifiée de basse par comparaison avec les températures atteintes dans les cokeries et les usines à gaz, à laquelle le rendement en goudron est maximum;

2° qu'à cette température la *nature* du goudron recueilli est totalement différente de celle des goudrons à haute température. Au lieu des constituants habituels : benzol, anthracène, naphthaline, créosote, etc. (hydrocarbures cycliques), le goudron obtenu à basse température, que l'on appelle pré-goudron ou goudron primaire, pour le distinguer des autres, est formé, généralement pour une bonne moitié, d'un ensemble d'huiles minérales analogues à celles dérivées du pétrole brut, et de paraffine (hydrocarbures aliphatiques).

La carbonisation à basse température apparaît donc comme pouvant servir de base à une industrie nouvelle: la fabrication, en partant des combustibles solides et par simple application de la chaleur, des essences pour moteur à explosion, des huiles pour moteur à combustion lente ou pour le chauffage, des lubrifiants spéciaux, de la paraffine, etc.

On peut s'étonner que les efforts pour créer cette industrie soient si récents, alors que l'on possède des brevets anglais pour la fabrication du coke remontant au milieu du dix-septième siècle et que l'éclairage de Londres au gaz date de 1813;

En réalité, l'existence d'une température de rendement maximum en goudron primaire et la nature particulière de celui-ci étaient connues dès 1865 (1): déductions tirées probablement de la pratique de la distillation des schistes bitumineux créée quelques lustres auparavant.

(1) A. GESSNER: *Practical Treatise on Coal, Petroleum, and other distilled Oil*. London, 1865.

BERTHELOT avait décrit en 1870 la méthode qui permet de « transformer les combustibles solides en un mélange d'hydrocarbures identique à un pétrole brut ».

Mais à cette époque, une seule huile minérale trouvait son emploi: le lampant; les essences légères n'avaient pas de marché; bien plus, on les prohibait parce qu'elles abaissaient dangereusement le point d'inflammation du lampant et on les détruisait sur place; les graisses animales étaient employées seules comme lubrifiants. Les premiers puits jaillissants de Pennsylvanie (1859) fournissaient d'ailleurs le pétrole naturel en abondance et à un prix qui décourageait toute idée de fabrication artificielle.

Depuis cette époque relativement récente, des événements considérables ont pris place, qui ont modifié la situation du tout au tout: inventions du moteur à explosion, du moteur à combustion lente, des machines à grande vitesse; développement de l'automobilisme, de l'aviation, du chauffage par les combustibles liquides... De 1860 à 1920; la consommation de pétrole dans le monde augmente près de 2.000 fois. Depuis longtemps, la benzine n'est plus extraite par distillation du pétrole en quantité suffisante: une proportion toujours croissante (10 p. c., en 1918, de la consommation totale) doit être « fabriquée » par la décomposition des huiles plus lourdes. Et l'on sait que le développement du moteur Diesel et du chauffage industriel par les combustibles liquides, avec tous leurs avantages, n'est entravé que par la pénurie des huiles nécessaires.

La guerre achève de démontrer la nécessité vitale des dérivés du pétrole. Au moment de l'armistice, les armées françaises seules consomment mensuellement 50.000 tonnes d'essence, ce que M. Georges Clemenceau traduit à sa manière en disant: « Pendant la guerre, l'essence a été aussi précieuse que le sang... »

En peu de lustres, le pétrole est ainsi devenu un des quelques produits les plus indispensables au monde

moderne, un des produits dont la possession détermine la politique des plus grands Etats et des plus grandes combinaisons financières. Mais les réserves naturelles que l'on se dispute aujourd'hui sont peu de chose, eu égard à l'accroissement continu et formidable de la consommation.

Sans attacher une valeur absolue aux délais prévus par le Service Géologique des Etats-Unis pour l'épuisement total des gisements pétrolifères connus, on peut dire que leur production ira bientôt en décroissant, en face d'une demande sans cesse croissante, circonstance réalisant enfin les conditions favorables(1) au développement de la troisième industrie dérivée de la carbonisation des combustibles solides: la fabrication du goudron primaire.

Comme la carbonisation à haute température, la carbonisation à basse température est d'origine anglaise. Mais, chose remarquable, quand en 1900, Thomas Parker et F. W. Salisbury Jones reprirent industriellement la question, un demi-siècle après Gessner et James Joung, ils s'écartèrent totalement de la ligne tracée par leurs prédécesseurs. Ils considéraient le résidu solide comme produit principal, et s'ils abaissaient quelque peu la température, c'était pour laisser dans le coke les matières volatiles nécessaires à un allumage aisé (2), et transformer les charbons bitumineux en un combustible domestique brûlant sans fumée (« smokeless fuel »). La température de rendement maximum en goudron primaire-était ainsi délibérément abandonnée, sans s'inquiéter du fait que la nature du goudron changeait du même coup.

(1) M. LÉON DEMARET (*Les gisements, l'exploitation et la distillation des schistes bitumineux*) note que l'on considère que dans trois ans, la hausse du pétrole rendra rémunératrice la distillation des schistes bitumineux aux Etats-Unis, pays du pétrole.

(2) Plus de 9 p. c. pour la facilité d'allumage, moins de 15 p. c. pour la fumivortité (BROWNLIE).

Les conceptions de T. Parker sont celles qui prévalent encore en Angleterre aujourd'hui. Il suffit de lire les revues techniques de ce pays pour voir répéter chaque jour que le semi-coke est le produit principal et qualifier de procédés à basse température, des procédés carbonisant à 650° et donnant un goudron de densité supérieure à l'unité et à caractère nettement benzénique. Cette façon de voir a été sanctionnée officiellement par le Fuel Research Board dont les essais à la station d'East Greenwich se sont localisés dans les températures habituelles de la cokéfaction et de la fabrication du gaz.

Or, au point de vue commercial, la fabrication du smokeless fuel est des plus précaires. La productivité des appareils est faible et, par conséquent, les frais de premier établissement pour un tonnage déterminé, élevés. Le nombre de calories nécessaires pour carboniser une tonne de charbon est énorme; le produit fini doit concurrencer la matière première, laquelle est un produit de qualité qui entre par conséquent dans le prix de revient avec une valeur élevée; les frais de transformation devraient être couverts pour une bonne part par la valeur du goudron qui est de qualité médiocre, parce que mal définie, et en quantité réduite. Pendant des années, le rapport annuel du Fuel Research Board a laissé entendre que dans les conditions économiques actuelles, le procédé n'était pas viable (1).

Dans ces conditions, les inventeurs ont été amenés, pour trouver une assiette commerciale, à chercher à retirer du charbon la plus longue liste possible de produits. Ils combinèrent des procédés qui devaient donner à la fois du semi-coke dur, un maximum d'huile et

(1) Le rapport de 1924 laisse entrevoir l'érection, au cours de l'année 1925, de 3 ou 4 installations qui pourraient être conduites sur une base commerciale.

d'essence, un maximum de gaz riche, sans oublier l'ammoniaque, qui est pourtant un produit de haute température.

Il en est résulté une grande confusion dans les idées et rien de décisif dans les résultats. Au Congrès de la Société Chimique Américaine réuni à Washington en 1924, le professeur R. T. Haslam, en conclusion d'une enquête mondiale sur les progrès récents réalisés dans le domaine des combustibles en général, constatait (2) que l'on n'avait pas encore élucidé le point de savoir si c'était le coke ou le goudron qui était le produit principal, et que vraisemblablement les premiers procédés viables seraient ceux qui se spécialiseraient dans l'une ou l'autre de ces fabrications.

C'est l'évidence même. Encore ne voit-on pas l'intérêt qu'il y ait à considérer la fabrication du smokeless fuel comme carbonisation à basse température. Elle est tout au plus une variante de la cokéfaction ordinaire, dans laquelle on arrête en un certain point l'élimination des matières volatiles du combustible cru.

Il semble d'ailleurs que, même en Angleterre, — car c'est chose faite en France et en Allemagne, — on ne tardera pas à rendre à la carbonisation à basse température sa véritable physionomie. Dans un livre paru cette année à Londres (3), MM. North et Garbe, ce dernier étant un compatriote, ingénieur sorti de l'école de Louvain, insistent sur le point que l'objet en vue dans le nouveau procédé doit être le goudron, et que le résidu solide doit être considéré comme un sous-produit dont on tirera parti par un moyen quelconque.

La théorie confirme pleinement cette façon de voir, et

(2) R. T. HASLAM et E. W. THIELE: *Recent progress in the field of fuels and fuel technology.*

(3) NORTH & GARBE: *Low temperature distillation.* Pittman & Sons Ltd, London, 1925.

dans les lignes qui suivent, afin d'éviter toute équivoque, nous négligerons volontairement ce qui a trait à la fabrication du semicoke dur, et nous définirons la carbonisation à basse température : la carbonisation en vue du goudron primaire.

CONSIDERATIONS THEORIQUES.

Précisons d'abord de quelle manière il faut entendre la température de l'opération : c'est la température mesurée dans les vapeurs d'hydrocarbures dégagées, à quelques centimètres au-dessus de la masse du combustible en traitement, la température de celle-ci pouvant différer de la première de 100 à 150°.

La température de rendement maximum en goudron primaire, à laquelle, par définition, on carbonise, varie quelque peu avec l'âge géologique du combustible traité; elle est d'autant plus basse que celui-ci est de formation plus récente et est généralement inférieure à 400°.

Un premier point à élucider et qui éclaire toute la technique de l'opération : pourquoi, à cette température, le rendement en goudron est-il maximum? Alors que le rendement moyen est de l'ordre de 2 p. c. dans les cokeries et de 4 p. c. dans les usines à gaz, il atteint couramment 9 p. c. du poids du combustible traité dans la carbonisation à basse température. La raison en est qu'à partir d'une certaine température, il y a destruction de goudron avec formation supplémentaire de gaz (hydrogène) et libération de carbone. C'est pourquoi au maximum de goudron correspond le minimum de gaz, et ce gaz est riche parce qu'il renferme surtout des gaz à haut pouvoir calorifique (méthane, éthane, etc.), et peu de gaz à faible pouvoir calorifique (hydrogène et oxyde de carbone) qui se dégagent plus tard.

En second lieu, pourquoi la nature du goudron primaire diffère-t-elle de celle du goudron ordinaire? Parce que les hydrocarbures qui se dégagent d'abord sont de la série aliphatique; leurs vapeurs sont extrêmement sensibles à l'action de la chaleur, et c'est le résultat de leur altération aux hautes températures nécessaires à la formation du coke ou du gaz d'éclairage qui constitue le goudron ordinaire.

Il résulte de ces quelques considérations, que ce que l'on appelle goudron primaire est le résultat de la condensation des vapeurs d'hydrocarbures qui se dégagent en-dessous de 400°, toutes les précautions étant prises pour évacuer ces vapeurs au fur et à mesure de leur formation et éviter toute cause d'altération ultérieure.

Le goudron primaire est un mélange compliqué, dont tous les constituants n'ont pas encore été identifiés, mais dans lequel on distingue généralement (1), à côté d'une très faible quantité (moins de 1 p. c.) de bases du genre pyridiné, des hydrocarbures paraffiniques qui constituent la partie réellement intéressante pour l'industrie que l'on a en vue; des phénols à réaction acide qui constituent en réalité une impureté.

Les proportions dans lesquelles ces deux groupes de constituants se rencontrent dans le goudron primaire paraissent dépendre, entre autres, de la teneur en oxygène du combustible distillé. D'après les travaux du Kaiser Wilhelm Institut, une houille à 7,5 p. c. d'oxygène donnerait un goudron où les constituants neutres et les constituants acides se rencontreraient en quantités sensiblement égales. Plus il y a d'oxygène, plus la quantité de phénols est grande. Chacun de ces groupes correspond à un constituant du combustible traité: les constituants neutres du goudron proviennent de la décomposition des constituants bitumineux du combustible; les phénols, de celle des constituants ligneux.

La teneur en goudron primaire des combustibles solides est très variable et elle se détermine expérimentalement par un appareil de laboratoire (Fischer et Glud), ou par un appareil semi-industriel distillant 50 ou 100 kgs. D'une manière générale, elle est en relation avec la teneur en matières volatiles. Cette règle, qui présente des exceptions, a été vérifiée par M. Connerade, pour les charbons du Couchant de Mons, jusqu'à une teneur de 31,8 p. c. de matières volatiles. Plusieurs procédés garantissent de 4,5 à 5,5 litres de goudron par chaque pour cent de matières volatiles du combustible.

(1) E. CONNERADE: *L'Etude scientifique du charbon*. — « Annales des Mines de Belgique », 2^e et 3^e fascicules, 1923.

TECHNIQUE.

On voit par ce qui est dit plus haut combien le rôle de la température est primordial dans une opération dont le rendement en quantité et en qualité est lié aux variations, dans des limites assez étroites, de cette température.

Les appareils de carbonisation devront donc permettre un contrôle aisé de la température. La transmission de la chaleur doit pouvoir se faire graduellement et d'une façon homogène à travers le combustible. S'il y a des surchauffes locales, il y aura altération des produits dégagés en cet endroit; s'il y a des points insuffisamment chauffés, tout le goudron primaire ne sera pas récupéré.

Cette transmission homogène de la chaleur à travers le combustible est peut-être la difficulté capitale de la carbonisation à basse température, parce que tous les combustibles solides ont une mauvaise conductibilité thermique. On est amené à appliquer la chaleur sur des épaisseurs extrêmement réduites de combustible, ce qui est un obstacle à une production industrielle. Comme, d'autre part, le transfert de chaleur par des gaz en contact avec un solide est proportionnel à la différence des températures, on est conduit à mettre le combustible à carboniser en mouvement pour renouveler continuellement les surfaces en contact avec la source de chaleur, c'est-à-dire à utiliser des fours rotatifs ou à malaxeurs intérieurs.

Les charbons agglutinants demandent toutefois des précautions spéciales (concasseurs libres ou couteaux tournants), afin de combattre la formation de la zone de fusion (*zone-écran*), tout en assurant la continuité de l'opération.

Le chauffage peut se faire par contact direct (chauffage intérieur); ou par contact indirect (chauffage extérieur); ou par un système combinant les deux dispositions. Dans ce dernier cas, il y a une tendance à employer intérieurement la vapeur surchauffée.

L'emploi de celle-ci, produite économiquement dans des siphons logés dans les carneaux, présente de grands avantages: elle réalise l'évacuation des vapeurs d'hydrocarbures au fur et à mesure de leur formation; elle régularise automatiquement la température à l'intérieur du four et évite les surchauffes, possibles avec le seul chauffage extérieur (1); la condensation est beaucoup plus simple

(1) Car pour élever la température d'un corps mauvais conducteur, par contact avec une source de chaleur, la température de celle-ci doit être de beaucoup supérieure à celle que l'on veut atteindre dans le corps traité.

que par simple chauffage interne, car, dans ce cas, les vapeurs d'hydrocarbures sont noyées dans un excès énorme de gaz de chauffage. Celui-ci, en effet, généralement produit par un gazogène, à une température beaucoup trop élevée, doit être dilué, parfois jusqu'à 50 p. c. de son volume, ce qui peut abaisser d'ailleurs le rendement thermique du système en dessous de celui du chauffage par contact indirect.

Durant les années d'expérimentation, les appareils empruntés aux industries les plus diverses ont été utilisés pour la carbonisation à basse température: le gazogène, les cornues: verticales, horizontales, inclinées, des usines à gaz, les fours à coke, le four à cuve, les fours de grillage des pyrites, les fours rotatifs à ciment, les cornues à malaxeurs de la distillation des schistes bitumineux, le four électrique, etc.

La plupart des dérivés de ces appareils ont été conçus en vue de la fabrication du semi-coke dur, et ne rentrent donc pas dans le cadre que nous nous sommes fixé.

Nous pensons que la fabrication du goudron primaire se rapproche sensiblement de la distillation des schistes bitumineux, et que la pratique sanctionnera des types d'appareils empruntés à cette industrie.

Chaque schiste bitumineux a des caractères différents qui exigent un four de distillation différent. La carbonisation à basse température sélectionnera vraisemblablement, de même, plusieurs types d'appareils qui conviendront particulièrement à des cas déterminés.

La pratique américaine de la distillation des schistes bitumineux comprend aujourd'hui trois classes principales d'appareils :

1° ceux qui utilisent la chute par pesanteur des schistes dans un four vertical. Ces fours sont dérivés du four de grillage Wedge, conçu à l'origine pour l'oxydation des minerais sulfurés du cuivre, des pyrites, etc. ;

2° ceux qui déplacent les schistes à l'intérieur de cornues horizontales fixes et chauffées, au moyen de vis convoyeuses ou de malaxeurs ;

3° ceux qui déplacent les schistes par rotation du four lui-même, celui-ci étant légèrement incliné ou muni d'une cornière qui trace sur la surface intérieure du cylindre une hélice entraînant le combustible d'une extrémité à l'autre.

Il est typique que cette classification soit précisément basée sur le mode de mise en mouvement du combustible à carboniser, nécessaire, comme nous l'avons vu, pour remédier à la mauvaise conductibilité des combustibles, pour dégager rapidement les vapeurs d'hydrocarbures, et, remarquons-le, pour obtenir une productivité suffisante et vraiment industrielle.

Il n'y a pas de doute que l'appareil-type de carbonisation à basse température doit appliquer la chaleur sur le combustible en mouvement et que l'extraction des hydrocarbures doit être terminée sur le parcours effectué.

C'est le système de chauffage appliqué dans un grand nombre sinon toutes les opérations métallurgiques, parce qu'il est le plus favorable à l'échange de chaleur entre le corps qui chauffe et le corps à chauffer.

Nous décrirons un appareil de chacune de ces trois classes :

1^{re} classe : Four vertical Hartman.

Un cylindre en tôle de 5^m,70 de hauteur et de 2^m,10 de diamètre est entouré d'une enveloppe en maçonnerie, dans laquelle circule le gaz de chauffage fourni par un gazogène. Le four de grillage primitif, utilisant la chaleur de combustion des sulfures, a donc été muni d'un système de chauffage extérieur pour servir à la carbonisation à basse température. Une série de planchers horizontaux se partagent l'intérieur du four et forment chicanes sur le parcours du combustible qui, introduit à la partie supérieure, tombe d'un plancher à l'autre par des ouvertures convenablement disposées, et rencontre des températures de plus en plus élevées. Sur chaque plancher, le combustible est promené circulairement à l'aide d'un bras se déplaçant à deux ou trois centimètres au-dessus du plancher par la rotation d'un arbre occupant l'axe du four. Grâce à ce dispositif, le charbon effectue sur chaque plancher, malgré le diamètre relativement réduit du cylindre, un parcours d'environ 6 mètres en quatre minutes (durée d'un tour de l'arbre).

L'application de la chaleur est ainsi progressive. La température au sommet de l'appareil est d'environ 260°, et elle augmente de 20° d'un plancher à l'autre. Au troisième plancher, l'eau d'humidité a disparu; au cinquième (360°), les huiles légères commencent à distiller, et après le huitième, les huiles lourdes ont pratiquement fini de se dégager. En passant sur le neuvième plan-

cher, le combustible est soumis à l'action d'un léger, puis sur le dixième, à l'action d'un fort jet de vapeur surchauffée. Celle-ci, produite et surchauffée économiquement dans un siphon logé dans l'enveloppe extérieure, pénètre au centre du four et s'élève, par des ouvertures ménagées dans les planchers, autour de l'arbre des malaxeurs. Outre les avantages énumérés plus haut, la vapeur accroît le rendement en huile, action que l'on attribue à la combinaison directe de l'hydrogène de la vapeur d'eau décomposée, avec le carbone du combustible chauffé.

Le four renferme à la fois six tonnes de schistes, qui sont distillées en trente minutes; comme la marche est continue, la production atteint donc le chiffre énorme de 288 tonnes par 24 heures (1).

Le malaxeur est actionné par un moteur de 24 HP, et sa vitesse est en relation avec celles du distributeur et du déchargeur, afin d'éviter les engorgements. Pour le même motif, la section du déchargeur, placé sous le dernier plancher, est 30 p. c. plus grande que celle du distributeur.

La température est contrôlée par des pyromètres, et les brûleurs peuvent être actionnés par un thermostat, réglant la température à 20° près. La main-d'œuvre se réduit à un surveillant.

La condensation des vapeurs s'effectue par la force centrifuge et par refroidissement.

2^e classe : Four horizontal fixe à malaxeurs.

Ce dispositif n'est guère représenté que par le four Ginet, qui est un cylindre fixe en fonte de 6 mètres de longueur et 0^m,90 de diamètre, chauffé extérieurement par quatre chambres de chauffe en maçonnerie. Un malaxeur axial est formé de pelles disposées sur un arbre creux. La capacité de traitement est de 65 tonnes de schiste par 24 heures.

Pour la carbonisation à basse température, au contraire, ce principe a donné naissance à un des fours les plus intéressants qui soient aujourd'hui sur le marché, le four Salerni.

D'après la description qu'en a donnée au Congrès de Liège, M. Ch. Berthelot, ce four se composait, à l'origine, d'un cylindre en tôle d'acier de 6 mètres de longueur et de faible diamètre,

(1) Il serait intéressant de savoir ce que deviennent ces chiffres, quand, au lieu d'une simple « pyrolyse », on pratique une véritable carbonisation, et pour un épuisement de matières volatiles déterminé.

chauffé extérieurement, et muni intérieurement d'un malaxeur à palettes. Dans le four actuel, la cornue primitive s'est modifiée; elle est devenue un auget demi-cylindrique et ne forme plus qu'un élément de l'appareil. Ces augets, placés en ligne, en se joignant par leur génératrice supérieure, forment, en effet, la sole de la chambre de distillation. Leur longueur et leur nombre varient selon le débit à atteindre et la nature du combustible à traiter, mais leur diamètre a été fixé à 0^m,40 par la considération de la résistance des bras des palettes.

Le combustible, convenablement broyé, est déversé dans le premier auget par deux tambours rotatifs et déborde d'un auget dans l'autre, comme le fait un liquide. Dans chaque auget tourne un malaxeur dont le sens de rotation est indifférent et sans action sur la progression du combustible, déterminée par la poussée ininterrompue du flot d'alimentation. La vitesse de rotation des malaxeurs, dont les poulies sont engrenées par des pignons coniques placés sur le même arbre, dépend de la nature du combustible et en particulier de sa densité. Le mécanisme du four proprement dit consomme environ 5 kwh. par tonne traitée.

Le chauffage est extérieur, les augets en tôle d'acier emboutie recevant directement l'action de la flamme de la chambre de combustion, et exclusivement sur leur surface inférieure revêtue d'une couche de combustible. La température dans la chambre de combustion ne dépasse pas 600°; la chaleur sensible des produits de la combustion est récupérée dans un séchoir qui surmonte la chambre de distillation, et où la température des gaz est abaissée de 300 à 150°. Ce séchoir est formé d'un certain nombre de plateaux, en rapport avec la quantité d'eau à évaporer, superposés et situés respectivement dans les plans des brins supérieurs et inférieurs d'une chaîne sans fin; cette chaîne porte des raclettes qui assurent la translation en couche de 3 à 4 centimètres du combustible sur le plateau correspondant. Les deux pignons de la chaîne sont moteurs, afin d'éviter des tensions nuisibles à la régularité de la marche qui se fait à une vitesse de l'ordre de 0^m,10 à la minute.

Le gaz de distillation sort par des tubulures à la partie supérieure de la chambre de distillation, traverse une chambre de dépoussiérage à chaud, et se rend à un condenseur garni de chicanes et muni d'une enveloppe à circulation d'eau où le goudron est condensé et séparé en une fraction légère et une fraction lourde.

A la sortie de la chambre de distillation, le semi-coke est entraîné par deux tambours rotatifs et versé sur l'étouffoir, appareil identique au séchoir, mais où les plateaux sont refroidis par une circulation d'air au lieu d'être chauffés par les produits de la combustion.

Les fours Salerni en usage depuis 18 mois aux Mines Domaniales de la Sarre, sont des fours de 15 tonnes/jour (poussier à 35-40 p. c. matières volatiles). Deux fours de 32 tonnes/jour sont en montage à la Centrale Electrique des Flandres, à Gand, pour la distillation préalable du combustible des chaudières (charbon bitumineux anglais); ainsi que deux batteries de 150 tonnes/jour en Yougo-Slavie (lignite).

Quoique la productivité dépende *a priori* du nombre d'augets et de leur longueur, M. Salerni estime ne pas dépasser la production de 75 tonnes/jour par four, production qui serait atteinte par 14 augets de 2 mètres \times 0^m,40, quoique naturellement la production ne puisse être fixée sans spécifier le genre de combustible et l'épuisement en matière volatiles à effectuer.

L'encombrement du four est en moyenne de 1 mètre cube en volume et 0,5 mètre carré en surface par tonne traitée journellement.

3^e classe : Four rotatif.

Le four rotatif, séduisant à plusieurs égards, — simplicité, capacité de production, — présente sous sa forme habituelle du four à ciment à brûleur central, de multiples inconvénients pour la carbonisation à basse température.

Les vapeurs huileuses sont mélangées aux produits de la combustion du gaz ou du liquide de chauffage dans la proportion de 500 mètres cubes par tonne carbonisée, ce qui rend la séparation et la condensation compliquées et coûteuses. Le goudron est chargé de poussières qui en diminuent la valeur. De plus, l'évacuation des vapeurs se fait difficilement du côté de l'entrée du combustible à carboniser; on est ainsi amené à faire circuler les vapeurs dans le sens du charbon, c'est-à-dire que les hydrocarbures passent sur du semi-coke à température élevée et s'y altèrent.

On a cherché à remédier à ces défauts en chauffant le four extérieurement, c'est-à-dire en le logeant dans une enveloppe, continue ou intermittente, en maçonnerie chauffée au gaz. L'inconvénient est alors que le diamètre étant relativement grand, la surface

chauffée par tonne de matière à carboniser est trop faible pour que le chauffage soit économique. Le rendement thermique devient mauvais et la construction présente des difficultés mécaniques; la détérioration du cylindre est rapide, la paroi métallique est tout entière en contact direct avec la flamme, alors qu'elle n'est recouverte que partiellement à l'intérieur par la matière à traiter. Enfin, le contrôle de la température le long du four n'est réalisé qu'au prix de chambres de chauffe multiples (Fellner-Ziegler, Randall, etc.).

La propulsion de la matière se fait par la rotation du four, combinée avec une légère inclinaison de celui-ci, ou si le four est horizontal, grâce à une arête hélicoïdale fixée à sa paroi intérieure. Cette propulsion rencontrant des difficultés dans le cas de charbons agglutinants, on a eu recours à des concasseurs libres (Fusion), retombant sur leurs arêtes grâce à la rotation, et brisant les agglomérations en même temps que les dépôts de coke formés sur la paroi.

Pour réunir les avantages inhérents aux deux systèmes de chauffage, on se sert de deux tubes concentriques tournant ensemble (Coppée), le tube intérieur recevant seul la flamme de gaz. Des palettes longitudinales insérées suivant 8 génératrices sur toute la longueur du tube intérieur brassent la matière pendant la rotation.

Grâce au tube intérieur, on revient aux avantages (mais aussi aux inconvénients) du chauffage extérieur. La circulation des vapeurs peut encore se faire à contre-courant du charbon, c'est-à-dire dans le sens des températures décroissantes, ce qui est favorable. Mais l'évacuation se faisant à la fois par les deux panneaux de fermeture du cylindre extérieur, il est à craindre qu'elle ne soit pas assez rapide pour éviter les décompositions.

La température est difficilement sous contrôle, le long du four, et pour les charbons agglutinants, il y a à craindre les dépôts sur le tube intérieur construit en tôle ondulée (1).

Le four de la Fusion Corporation Ltd tourne à raison de 5 à 7 tours par minute; la température varie de 200° à 450°. La production du four de 30 mètres de longueur et 1^m,50 de diamètre est de 100 tonnes par 24 heures.

(1) Des illustrations des fours rotatifs Thyssen, Fusion, Coppée, ont été données dans l'étude de M. E. CONNERADE.

Dans le four Dobbstein essayé cette année à la mine Prosper Bottrop, à Essen, le tube intérieur porte des ailettes creuses parcourues par le gaz de chauffage et espacées de 10 centimètres, entre lesquelles le charbon est logé. La rotation est très lente : un tour en 3 à 5 heures, correspondant à la durée de la carbonisation qui ne se fait plus sur un parcours longitudinal, mais sur une rotation. Le charbon n'est plus brassé mais comprimé, au chargement, entre les ailettes. En réalité, on a affaire à une tentative de fabrication du semi-coke dur par un procédé continu.

Comme procédé différent de ceux que nous avons énumérés, mais appliquant les principes de l'application de la chaleur sur le combustible en mouvement et de la distillation terminée sur un parcours déterminé, il y a lieu de citer le procédé Piron-Caraeristi en usage à la Ford Motor Company, à Ford (Ontario), où 400 tonnes sont distillées par 24 heures. Le charbon est disposé en couche mince sur un transporteur métallique de 2^m,70 de large et 13^m,50 de longueur, effectuant en 4 minutes un trajet à la surface d'un bain de plomb fondu. La température du transporteur serait de 650° et le débit de 4 à 5 tonnes à l'heure.

RENDEMENT EN GOUDRON PRIMAIRE DES COMBUSTIBLES SOLIDES.

D'une manière générale, tous les combustibles solides renferment une certaine quantité de goudron primaire (1), qui est, jusqu'à un certain point, fonction de la teneur en matières volatiles.

Dans les conditions économiques actuelles, et dans l'état des méthodes de carbonisation à basse température, on estime qu'en principe, un charbon doit avoir au moins 30 p. c. de matières volatiles pour assurer la rentabilité de l'opération.

Cette règle n'a évidemment rien d'absolu, car il n'est pas indifférent d'enfourner ce charbon sous forme de schlamms ou sous forme des gaillétins que réclament certains procédés anglais.

La carbonisation à basse température à l'aide des fours que nous avons envisagés peut et doit s'appliquer sur les fines catégories 0-2, 0-5 jusqu'à 0-10.

Au cours des essais effectués en septembre dernier à Sarrebrück par l'Administration des Mines Domaniales françaises du bassin

(1) Charbon maigre 15 p. c.; charbon gras 3,5 p. c.; charbon à gaz 6,0 p. c.; charbon flambant 12 p. c.; cannel coal 20 p. c.; lignite saxon 24 p. c.; lignite rhénan 7,7 p. c. (CH. BERTHELOT, *Mémoire au Congrès de Liège.*)

de la Sarre, des schlamms lavés à 20 p. c. d'humidité, 8 p. c. de cendres, 33 à 40 p. c. de matières volatiles, ont donné dans un four Salerni un rendement de 6 à 6,5 p. c. de goudron, avec une consommation de 300.000 calories par tonne carbonisée.

La teneur en cendres n'ayant d'autre influence que de diminuer la valeur du semi-coke, la question se posera de la distillation des déchets non marchands, « barrés », « mixtes », ou même des terres de laverie.

Les lignites conviennent particulièrement à la fabrication du goudron primaire, en raison de la légèreté de leur goudron, de leur teneur en matières volatiles et de leur faible pouvoir calorifique, le semi-coke restituant un combustible amélioré au point de vue thermique. La composition des lignites est très variable, selon leur origine, leur mode d'exploitation, etc. La teneur en eau des lignites exploités à ciel ouvert est plus élevée que celle des lignites des exploitations souterraines. Par contre, celles-ci donnent des teneurs en cendres plus fortes. Ces cendres peuvent rendre l'agglomération du semi-coke coûteuse et difficile. On préfère dans ce cas, d'autant plus que ces cendres sont généralement infusibles, recourir à la pulvérisation pour l'emploi du semi-coke. On a préconisé également, quand on veut conserver le briquetage, le lavage par flottage, l'huile nécessaire étant fournie par le goudron.

Le rendement en goudron primaire des lignites peut varier par exemple de 3 à 13 p. c., avec une teneur moyenne de 7 p. c. qui peut, dans la plupart des cas, suffire à rémunérer la carbonisation.

Les schistes bitumineux, les cannels, les houilles à gaz, les torbanites, sont les combustibles indiqués pour la distillation en vue du goudron primaire dont certains fournissent jusqu'à 300 litres à la tonne.

La valeur de la tourbe est des plus variables, selon sa plus ou moins haute teneur en eau ou en cendres, son état de minéralisation, etc. MM. North et Garbe citent le cas de la tourbe des Iles Shetland, d'exceptionnelle qualité : 73,8 p. c. m. v., 21,4 p. c. humidité. Après dessiccation à 105°, la composition devenait :

M. v.	66,65 p. c.
Cendres	3,88 »
Carbone fixe.	29,47 »
Azote	1,04 »
Soufre.	0,7 »

La quantité de goudron primaire récupéré était de 7,4 p. c.; celle de semi-coke était naturellement minime (34 p. c.), mais renfermant la plus grande partie de l'azote du combustible primitif, on a avantage à le gazéifier ultérieurement pour récupérer l'ammoniaque.

La rentabilité du traitement d'un combustible donné ne peut donc être déterminée *a priori*. On doit, au préalable, rechercher les quantités de goudron, de semi-coke, de gaz produites par unité de poids; étudier la nature de ces produits, leur utilisation suivant l'endroit où a lieu la carbonisation, etc.

En Belgique, où l'on peut pour le moment envisager l'application du procédé aux charbons flénus du Couchant de Mons et aux charbons de la Campine, cette étude a été entreprise par le laboratoire de recherches de la Faculté des Mines de Mons. On trouvera les premiers résultats concernant les charbons du Borinage dans la belle étude de M. le Professeur E. Connerade.

UTILISATION INDUSTRIELLE DU GOUDRON PRIMAIRE.

De par sa composition, le goudron primaire ne sera pas traité comme un goudron à haute température dont on isole les constituants chimiquement définis, mais comme un pétrole brut qu'on fractionne en composés jouissant de propriétés semblables et convenant à un même usage.

L'utilisation industrielle du goudron primaire se fera donc par une technique empruntée jusqu'à un certain point à celle des raffineries de pétrole, d'autant plus qu'on a intérêt à mettre d'abord sur le marché des produits identiques, ou à peu près, à ceux existant déjà. L'étude poursuivie des goudrons et le perfectionnement des méthodes ne manqueront sans doute pas, plus tard, d'identifier des produits spéciaux répondant à des usages nouveaux.

Toutefois, la question est loin d'être résolue. Les goudrons primaires se sont révélés des mélanges bien plus complexes que les pétroles; de plus, la fabrication introduit dans le mélange d'hydrocarbures de l'eau en quantité variable suivant les procédés, mais qui a atteint parfois 50 p. c. eau dont la séparation ne peut se faire par simple décantation, mais nécessite une saturation par le sel marin et une centrifugation énergique; elle introduit également des poussières qui, en quantité suffisante, peuvent déprécier

le mélange. Enfin, la présence des constituants acides (phénols et constituants solubles dans la soude caustique) complique le traitement du goudron dont la valorisation exige que l'on tire parti de ces produits entrant jusqu'à 50 p. c. de sa composition.

Il semble qu'à l'heure actuelle, il y ait deux moyens de valoriser le goudron primaire :

1. la méthode générale, en voie d'élaboration, qui consiste à retirer du goudron tous les produits susceptibles d'un usage déterminé. On cherche donc à produire sur une base commerciale des essences et des huiles dont les propriétés : densité, points d'ébullition, viscosité, etc. se rapprochent des produits employés actuellement pour l'alimentation des moteurs à explosion et des moteurs à combustion lente, pour la lubrification, pour le chauffage, etc.; on retire la paraffine et, éventuellement, les phénols dont il s'agit de tirer parti, etc.;

2. le craquage pur et simple du goudron brut en vue de sa transformation totale, — ou du moins dans les limites du rendement de l'opération, — en carburant.

La méthode générale procède par distillation fractionnée. Primitivement, la paraffine était retirée la dernière, par cristallisation; aujourd'hui, on tend en Allemagne à l'extraire d'abord, en utilisant un solvant (alcool, anhydride sulfureux, acétone, benzol et alcool), procédé donnant un rendement supérieur à l'ancien.

La fraction légère est recueillie jusqu'à 150° et réunie à l'essence récupérée par le débenzole du gaz au moyen d'une huile lourde ou mieux par la tétraline qui a l'avantage de ne pas s'altérer sous l'action de chauffages répétés (Procédé Brégeat).

M. Sainte-Claire Deville a montré, à la suite d'essais effectués sur un goudron primaire de la Sarre (Four Salerni), que :

a) l'essence 65°-130° provenant du laboratoire peut être mélangée sans inconvénient en toutes proportions aux carburants habituels et même employée pure;

b) la fraction suivante 130°-150° ne convient pas aux moteurs et aux carburateurs habituels, elle ne peut être employée qu'en mélange;

c) en se bornant à une addition qui ne dépasse pas 20 p. c. à 25 p. c., on peut incorporer sans crainte les carburants nouveaux dans leur intégralité (65°-150°), et ceci sans modifier le réglage du carburateur.

Les phénols passent à la distillation et se retrouvent surtout dans la fraction des huiles moyennes 200°-320°. Une expérience de douze années a prouvé que leur présence, même en fortes proportions, dans les huiles Diesel n'offre pas d'inconvénients. Pour cet usage, pour le chauffage, et pour certaines lubrifications, on pourra donc se dispenser d'isoler les phénols. Dans le cas contraire, on effectue cette séparation industriellement par l'eau surchauffée sous pression (Fischer).

Même si cette extraction des phénols n'est qu'occasionnelle, leur forte teneur dans les goudrons primaires fait prévoir la production de tonnages importants de ces produits, dont il faudra rechercher l'emploi. Ces huiles acides ont d'ailleurs des qualités antiseptiques; elles peuvent servir à la fabrication de résines artificielles qui sont à la base de l'industrie des isolants électriques; elles fournissent une excellente huile pour laver par flottage les combustibles pulvérulents et cendreuse; enfin, elles peuvent être retransformées en mélange de benzène et de toluène par l'action à 750° de l'hydrogène en présence d'étain comme catalyseur (Fischer). Les phénols communiquent toutefois aux huiles auxquelles ils sont mêlés une odeur forte qui peut être indésirable et justifier les frais nécessaires à leur enlèvement.

2. Le craquage du goudron brut peut se faire par plusieurs procédés. En principe, on appelle craquage la décomposition des hydrocarbures lourds en hydrocarbures plus légers par l'action de la chaleur. Sous cette forme simpliste, le rendement de l'opération en essence est médiocre, parce que la décomposition produit d'autres corps indésirables, gaz et coke, et que des réactions secondaires reconstituent des hydrocarbures lourds avec les hydrocarbures légers. En outre, la qualité des essences produites n'est pas satisfaisante, parce qu'elles renferment beaucoup d'hydrocarbures non-saturés instables qui s'altèrent ultérieurement.

On a cherché à améliorer les rendements en quantité et en qualité du craquage, et toutes les tentatives ont été faites dans le même sens, dans l'hydrogénation des hydrocarbures non-saturés au fur et à mesure de leur dégagement, lors de la décomposition des hydrocarbures à poids moléculaire élevé.

Ces procédés diffèrent par la façon dont ils fixent l'hydrogène, soit en opérant dans de la vapeur d'eau décomposée par du fer chauffé, soit en opérant directement dans de l'hydrogène en présence d'un catalyseur ou sous pression élevée.

Ce dernier procédé, dû à Bergius, qui opère à 400-450° et dans une atmosphère d'hydrogène à la pression de 100 kgs, donne des produits complètement saturés et sans formation de coke, alors que pour certains procédés de craquage, le poids de coke déposé atteint jusqu'à 20 p. c. de celui du goudron traité.

Industriellement, la question du « craquage » n'est résolue qu'imparfaitement: on arrive par exemple à craquer des *gaz oils* avec un rendement en essence de 30 p. c. Le procédé américain Dubbs, qui compte à lui seul 145 installations dans le monde entier, obtiendrait même un rendement de 45 à 50 p. c. Mais autre chose est de craquer des *fuel oils*, et à plus forte raison des goudrons primaires, qui n'ont guère été traités, jusqu'ici, qu'au laboratoire.

Il semble, qu'au moins pour les procédés opérant à la pression atmosphérique grâce à l'action de catalyseurs, le prix de la transformation dépende essentiellement de la nature du goudron, et celle-ci, pour un même combustible, peut différer (densité, teneur en poussières, courbe de distillation, température de début de la distillation) selon le procédé de carbonisation employé, tous ces facteurs augmentant le coût du chauffage et modifiant le rapport des quantités d'essence, de gaz et de carbone produites. Comme inversement, pour un même procédé, différents combustibles donnent des goudrons de compositions différentes, on devine combien la question du craquage des goudrons primaires est complexe et ardue à résoudre dans toute sa généralité.

Un autre procédé de craquage à la pression atmosphérique avec catalyse et réaction chimique, le procédé Mony, associé au procédé de carbonisation Salerni, transforme le goudron de lignite avec un rendement de l'ordre de 55 p. c., en un carburant de densité 0,850 à 15°, qui distille entièrement entre 60 et 150°, et a été essayé avec succès par l'Automobile-Club de France.

UTILISATION DES SOUS-PRODUITS.

A) *Semi-coke.*

La quantité de semi-coke laissée comme résidu de la carbonisation à basse température varie d'un combustible à l'autre, depuis 0 pour les schistes bitumineux jusqu'à 70 ou 75 p. c. pour les charbons à 25 p. c. de matières volatiles.

Dans la fabrication du goudron primaire, le semi-coke est pulvé-
rulent; il renferme en moyenne 10 p. c. de matières volatiles, et sa
teneur en cendres dépend de celle du combustible cru. Son pouvoir
calorifique est légèrement inférieur à celui du charbon qui l'a
produit, mais en fait il constitue un excellent combustible, et l'on
comprend que de son utilisation, étant données les quantités impor-
tantes produites, dépende, dans certains cas, le succès commercial
de la fabrication du goudron primaire.

Cette utilisation dépend de considérations multiples, en parti-
culier des débouchés que l'on a à proximité du lieu de production.

Les Allemands ont cherché à l'employer pour le chauffage
domestique et ils ont créé des foyers spéciaux qui tiennent compte
des particularités du semi-coke pulvé-
rulent: il ne s'agglomère pas
au feu, parce que le bitume en a disparu; les particules réduisent
facilement l'anhydride carbonique formé par la combustion, et
cette réaction endothermique est susceptible d'éteindre le feu.

Une utilisation industrielle imprévue et susceptible d'un grand
développement a été innovée depuis peu dans la Sarre.

Ce procédé, dû à M. Charpy, a pour objet d'abaisser la teneur
en matières volatiles du charbon à cokéfier (33-37 p. c.), afin
d'obtenir un coke métallurgique non-friable. On carbonise donc
à basse température une partie du charbon (1), et le semi-coke à
15 p. c. de matières volatiles est mélangé au charbon cru, dans la
proportion de 1 partie du premier pour 4 parties du dernier.
D'après M. Berthelot, le coke fabriqué de cette façon revient
moins cher, malgré la préparation supplémentaire, que le coke
ordinaire ne contenant que du charbon gras, et est égal en qualité,
au meilleur coke de la Ruhr. Ce procédé élargit ainsi la gamme
des combustibles susceptibles de donner un coke métallurgique et
présente un intérêt industriel et national indéniable.

La carbonisation à basse température permet donc, non seule-
ment, aux pays dépourvus de charbons domestiques de fabriquer
de l'anhracite, mais encore aux pays possédant des houilles très

(1) En réalité, dans la Sarre, on carbonise d'abord un combustible diffé-
rent et plus riche en matières volatiles, que celui auquel on mélange le
semi-coke. La raison en est évidemment que l'on cherche à récupérer la
plus grande quantité de goudron primaire. Mais le principe de la méthode
est de carboniser à basse température une partie du combustible trop riche
et de mélanger le semi-coke à une proportion convenable de ce même
combustible.

riches en matières volatiles de fabriquer du coke équivalent à celui
obtenu avec les charbons spéciaux réservés jusqu'ici à cet usage.

Enfin, le semi-coke peut être utilisé pour le chauffage industriel
sous une des trois formes suivantes: après agglomération, ou pul-
vérisation, ou gazéfaction.

B) Gaz.

Le sous-produit gazeux est un gaz riche (7.000 calories/mètre
cube); la quantité produite par la carbonisation à basse tempé-
rature est de l'ordre de 100 mètres cubes par tonne traitée. Après
débenzolage, ce gaz est employé au chauffage de l'appareil de
carbonisation, à moins qu'on ne puisse le vendre pour caloriser le
gaz d'éclairage, le gaz de haut fourneau, etc.

Charleroi, décembre 1925.