

LES  
**LIGNITES**

ET LEURS

**APPLICATIONS INDUSTRIELLES**

PAR

**Edmond MARCOTTE**

INGÉNIEUR-CONSEIL.



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET C<sup>ie</sup>, EDITEURS

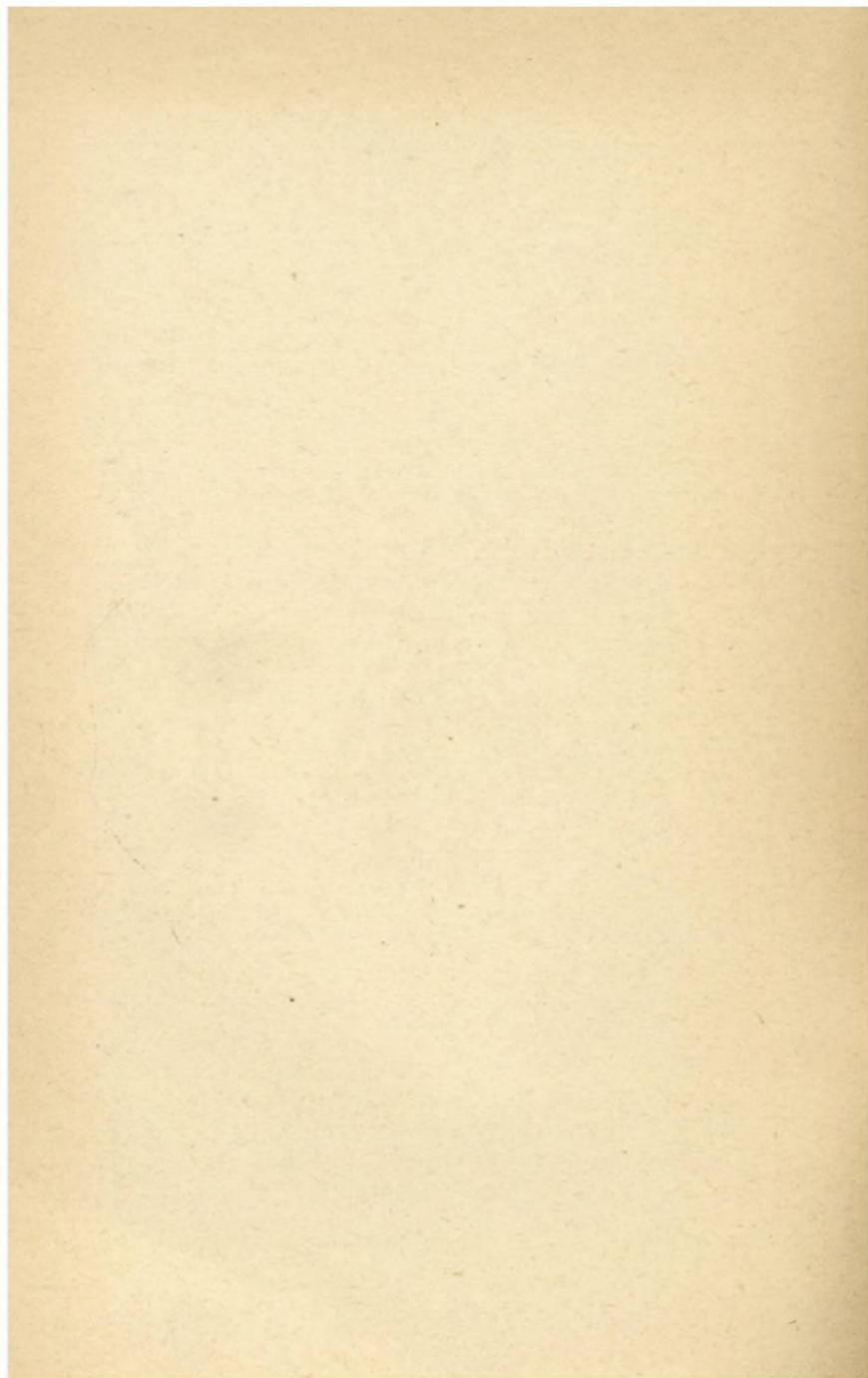
LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
55, Quai des Grands-Augustins, 55

1925



MAJORATION 20%





W°Bis 403694/-191912

LES

# LIGNITES

ET LEURS

APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

---

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET C<sup>ie</sup>,  
72550 Quai des Grands-Augustins, 55.

---

LES  
**LIGNITES**

ET LEURS  
**APPLICATIONS INDUSTRIELLES**

PAR  
**Edmond MARCOTTE**  
INGÉNIEUR-CONSEIL.



**PARIS**  
**GAUTHIER-VILLARS ET C<sup>ie</sup>, EDITEURS**  
LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
55, Quai des Grands-Augustins, 55

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés  
pour tous pays.

---

## PRÉFACE.

---

Il nous manque, tous les ans, 30 millions de tonnes de houille et 800 000 tonnes de carburants que nous achetons 3 milliards, ce qui est une cause chronique de dépréciation de notre change.

Nous affranchir de ce lourd tribut est une nécessité économique en même temps qu'un problème militaire et naval angoissant.

La prospection et l'exploitation de nos importantes réserves de lignite fourniraient sans doute la solution la plus avantageuse.

De nos gisements, riches de 3 ou 4 milliards de tonnes, nous ne tirons chaque année que 800 000 tonnes, presque rien en regard de l'extraction annuelle de l'Allemagne : 140 millions de tonnes, dont la plus grande portion est traitée par : briquetage, gazéification directe, carbonisation ou distillation. Des exploitations importantes existent en Tchéco-Slovaquie, en Italie, au Canada, au Natal, aux États-Unis même, où la houille et le pétrole abondent.

Nous pensons que la diffusion des procédés employés à l'Étranger, et de ceux qui commencent à fonctionner en France, aiderait les concessionnaires, les administrateurs et les directeurs des mines à mettre en valeur leurs gisements, faciliterait les travaux des ingénieurs et des chimistes et pourrait engager les porteurs de capitaux à s'assurer des bénéfices importants en prenant des intérêts dans les entreprises lignitifères.

Nous expliquons comment un combustible médiocre à l'état naturel peut constituer une matière première d'une richesse considérable pour l'industrie chimique. La fabrication des essences et benzols, carburants, solvants, combustibles liquides, huiles de graissage, huiles phénoliques, colorants et parfums, paraffines, sulfate d'ammoniaque, etc., n'empêche pas la production d'une certaine quantité de gaz pour le chauffage ou pour les moteurs, aussi que l'utilisation du coke résiduaire dont le pouvoir calorifique peut atteindre 6000 à 6500 calories. Nous exposons également d'autres procédés, gazéification et briquetage de combustible cru par exemple, intéressants dans certains cas.

C'est en examinant tous ces problèmes et en participant à des essais pour les sociétés que nous conseillons, que nous avons rassemblé les éléments de ce livre où nous discutons les principaux procédés en usage ou en expérimentation, afin d'en faire ressortir les avantages et les inconvénients.

Il est évident que les faits que nous avons contrôlés auraient été insuffisants pour la rédaction de ce livre de vulgarisation; nous avons donc consulté une série de documents épars dans la littérature technique étrangère et d'intéressantes études publiées en France, notamment par la *Revue de l'Industrie minérale, Chimie et Industrie, Chaleur et Industrie*. Nous avons demandé à M. P. Pétroff, qui a eu l'occasion d'analyser la plupart des gisements français, d'écrire un chapitre spécial consacré à l'étude des lignites au laboratoire.

Nous espérons que les administrateurs et tous ceux qui recherchent des perfectionnements y trouveront quelques indications utiles. Puisse cet Ouvrage aider un peu à l'exploitation de nos richesses lignitifères.

EDMOND MARCOTTE.

---

# LES LIGNITES

ET LEURS

APPLICATIONS INDUSTRIELLES

---

## CHAPITRE I.

COUP D'ŒIL GÉNÉRAL SUR L'INDUSTRIE DES LIGNITES (1).

---

SOMMAIRE. — Intérêt des lignites : Gisements français. — Analyses des lignites : Appareils Copaux et Damour : Essais de MM. Laffargue et Jaugéy. Résultats généraux. Jugements particuliers. — Séchage du lignite. — Procédés industriels de carbonisation des lignites : Fours Ziegler et Darnsby. Procédés Tozer et Johns. Four tournant de Fischer. Four à malaxeur intérieur Salerni. — Les gazogènes à récupération : Gazogène Mond. Gazogène à double gaz. Procédé du trigaz. Autres fours.

**Intérêt des lignites.** — Les sociétés étrangères, particulièrement les sociétés allemandes, trouvent des profits considérables dans l'exploitation rationnelle des gisements lignitifères. Le lignite cru ou briqueté, le coke, les gaz, les produits de la distillation des goudrons sont des sources de richesse dont elles savent tirer le meilleur parti.

La pénurie des carburants et des combustibles liquides en France suffirait à nous engager résolument dans une politique lignitifère, si le souci de nous procurer les combustibles solides qui nous sont indispensables ne donnait pas à nos gisements de lignite une importance encore plus grande pour l'avenir de notre activité industrielle.

---

(1) *Revue industrielle*, septembre et octobre 1923.

Tous les ans, il nous manque 30 millions de tonnes de charbons que nous devons importer; cette situation paraît malheureusement susceptible de durer longtemps : les lignites nous sont donc indispensables.

En dehors d'ailleurs de l'utilisation de ces combustibles dans les foyers spéciaux, ou sous forme de briquettes obtenues par compression après séchage, avec ou sans addition de brai, les procédés de *carbonisation*, appliqués à des gîtes présentant les qualités requises, donnent non seulement une quantité notable d'essences, d'huiles et de paraffine, mais encore un coke susceptible d'être briqueté pour constituer un charbon sans fumée, brûlant très facilement sans odeur et dont le pouvoir calorifique peut atteindre 6600 calories. Cela, sans compter les gaz pour moteurs et l'ammoniac qui peuvent être avantageusement utilisés dans certains cas. Le schéma (*fig. 1*) indique les principaux produits récupérables après carbonisation.

On a beaucoup parlé, notamment au dernier Congrès des combustibles liquides, de procédés de carbonisation et de distillation, mais quelques-uns des plus intéressants n'ont pas été signalés. Bien peu d'expériences d'ailleurs ont été faites industriellement en France et l'on se trouve bien embarrassé pour chiffrer la valeur réelle de certaines propositions.

Il faut prendre garde d'ailleurs que les résultats publiés ne peuvent s'appliquer qu'à un gisement bien déterminé soumis à un procédé parfaitement défini.

On confond, en effet, sous le nom de *lignite*, un grand nombre de variétés à diverses phases de transformation. Si les combustibles ont tous pour origine des végétaux plus ou moins décomposés ou enfouis dans le sol, leurs qualités dépendent de l'époque de leur formation, de la nature des végétaux en question et des modifications qu'ils ont subies. Dans les marais tourbeux croissent actuellement plus de 500 variétés de plantes; on peut concevoir qu'il y

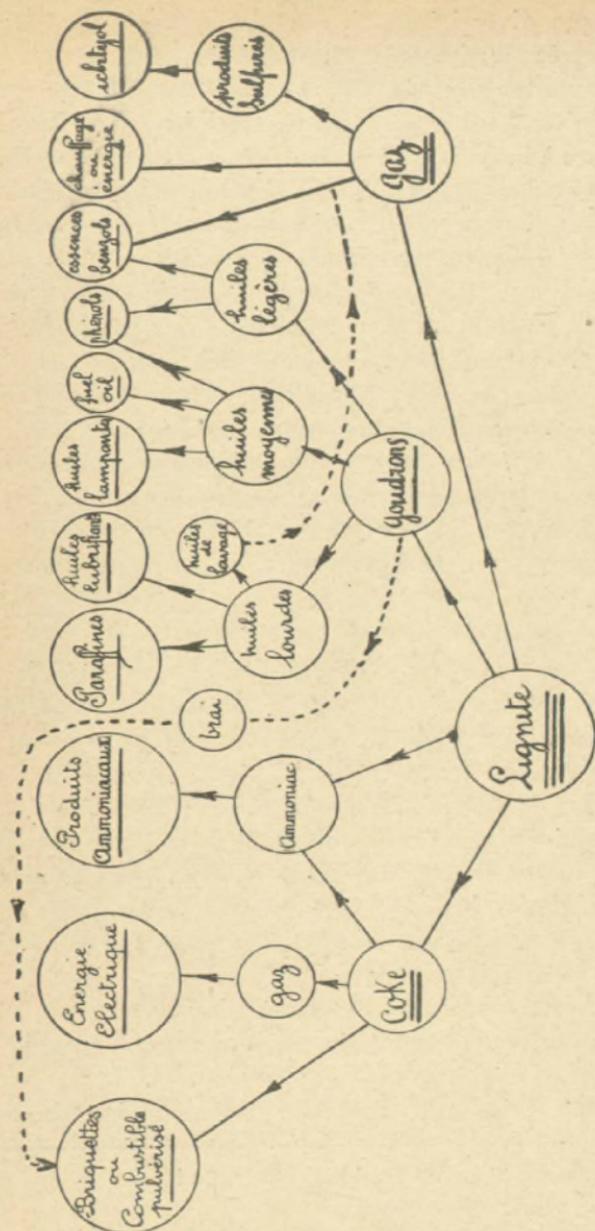


Fig. 1. — Schéma des sous-produits récupérables dans la carbonisation des lignites.

ait quelque diversité aussi dans les qualités des lignites, tourbes très anciennes, où, d'ailleurs, on reconnaîtrait difficilement tant de végétaux divers.

Les lignites, houilles des terrains tertiaires ou de formation postérieure à la craie, se trouvent généralement dans l'argile plastique et dans les calcaires d'eau douce. On en distingue un grand nombre de variétés, depuis le bois fossile, qui donne par carbonisation du pyroligneux (en moins grande quantité d'ailleurs que le bois, mais plus d'alcool) jusqu'au combustible, noir, brillant, à peu près sec, assez semblable à la houille. Entre ces deux extrêmes, les lignites schisteux, terreux, ternes, massifs, fibreux ou même le bois bitumineux, sont susceptibles de donner des huiles et des sous-produits intéressants, d'une nature plus voisine généralement des pétroles que des sous-produits de la houille. Par exemple, au lieu de récolter de la naphthaline et de l'anthracène, on a des paraffines, ce qui vaut beaucoup mieux.

**GISEMENTS FRANÇAIS.** — Voici d'ailleurs, d'après la description sommaire présentée par M. Brunschweig au Congrès des combustibles liquides, les caractères principaux des différents bassins français (1) :

*Fuveau* (Bouches-du-Rhône), terrain néocrétacé d'un millier de kilomètres carrés qui contient trois couches principales régulières, de 0<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup> de puissance, exploitées par puits et galeries jusqu'à 250<sup>m</sup> de profondeur, donnant un combustible satisfaisant avec 8 à 9 pour 100 d'humidité et 6 à 20 pour 100 de cendres.

*Bagnols* (Gard) contient deux à cinq couches de 0<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup> de puissance, d'un lignite terreux de 15 à 30 pour 100 d'humidité et de 6 à 30 pour 100 de cendres.

*Méthamis* (Vaucluse) renferme trois couches de 0<sup>m</sup>,60

---

(1) Voir, page 48, une description plus détaillée.

à 1<sup>m</sup>,50 d'un combustible noir, terne, friable, tenant 17 à 22 pour 100 d'eau et 14 à 30 pour 100 de cendres.

*Alais* (Gard) possède deux à trois couches de 0<sup>m</sup>,60 à 4<sup>m</sup>,50 d'un lignite à 10 ou 20 pour 100 d'eau et 13 ou 20 pour 100 de cendres.

*Manosque* (Basses-Alpes), terrain oligocène très tourmenté; les couches, souvent redressées, forment trois étages de 0<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup> d'un lignite tenant 3 à 20 pour 100 d'eau et 15 à 40 pour 100 de cendres.

*Laluque* (Landes), terrain pliocène où se trouve, sous 6 à 10<sup>m</sup> seulement de morts-terrains, une couche de 1 à 7<sup>m</sup> de puissance donnant un excellent lignite pour la carbonisation, contenant 55 pour 100 d'eau et 5 pour 100 de cendres.

*Saint-Lon* (Landes), terrain éocène contenant deux couches de 0<sup>m</sup>,80 à 2<sup>m</sup> d'un combustible, noir, luisant, tenant 20 pour 100 d'eau et 10 pour 100 de cendres.

*Sardalais* (Dordogne), couche régulière de 1<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup> avec 21 à 27 pour 100 d'eau et 7 à 15 pour 100 de cendres.

*Caunette* (Aude, Hérault) renferme des couches très irrégulières de 0<sup>m</sup>,50 à 4<sup>m</sup> contenant 2 à 10 pour 100 d'eau et 22 à 40 pour 100 de cendres.

Ajoutons, à cette énumération : *Lazac* (Aveyron), *Estévar* (Basses-Pyrénées), et les nombreux gisements alpestres, notamment celui de *Voglans*.

Parmi ces gisements intéressants, ceux qui le sont davantage paraissent les lignites du bassin de *Fuveau* à cause de leur qualité comme combustible et les lignites de *Laluque*, en raison de la qualité des sous-produits de leur carbonisation, ainsi que de leur facilité d'exploitation à ciel ouvert.

La production totale du lignite en France a atteint 1 317 000 tonnes en 1918, les trois quarts provenant de *Fuveau*. C'est peu si l'on songe que les réserves françaises sont d'environ deux milliards de tonnes.

**Analyses des lignites.** — C'est la carbonisation, quand

elle est possible, qui donne les plus grands bénéfices, mais, avant de carboniser, il faut établir avec soin le bilan des opérations projetées. Les divergences entre les gisements s'accusent bien davantage encore à la carbonisation.

L'analyse d'un lignite donne souvent une appréciation fort incomplète, si l'on ne rend pas compte exactement du mode opératoire suivi. Chaque laboratoire opère à sa manière et trouve des résultats bien différents avec des échantillons semblables. Nous en avons eu des exemples que nous ne pouvons pas citer malheureusement.

On doit regretter que le four d'expérience que M. *Emilio Damour* avait réalisé aux mines de Lens pour l'étude des combustibles ait été détruit au commencement de la guerre. Ce four pouvait distiller, en pression ou en dépression, avec ou sans injection de vapeur. On y réglait la température avec précision entre des limites étendues.

APPAREILS COPAUX ET DAMOUR. — M. Damour a repris ses expériences à l'aide de l'appareil *Copaux* que son inventeur lui a gracieusement prêté.

Un cylindre vertical en fonte, obturé par des fonds amovibles avec joints d'amiante, est chauffé électriquement par une résistance de fil nichrome entourée d'un calorifuge constitué par une épaisseur de 20<sup>cm</sup> de silice d'infusoires. Par un tube de dégagement au fond, les produits distillés se rendent aux appareils de condensation : flacon refroidi jouant le rôle de barillet, serpent, flacons à acide sulfurique absorbant l'ammoniaque. Le fond supérieur laisse passer deux cannes de pyromètre, l'une donne la température près du bord, l'autre la température au centre.

Cette cornue permet de traiter 15<sup>kg</sup> de combustible et d'atteindre la température de 800°.

M. Damour ajouta : des compteurs et mesureurs de volume (voluménomètre de Lunge et burette de Bunte)

qui permettent de faire des prélèvements proportionnels aux dégagements de gaz et de vapeurs; un débenzoleur; un autoclave qui permet d'injecter de la vapeur; un tube central perforé qui, placé au centre de la cornue, est destiné à drainer les gaz pour éviter tout cracking par décomposition pyrogénée au contact du combustible plus chaud que les vapeurs.

*Essais de MM. Laffargue et Jaugey.* — Avant ces perfectionnements, MM. Laffargue et Jaugey ont utilisé l'appareil Copaux et publié dans les *Annales des Mines* (5<sup>e</sup> livraison de 1922) les résultats qu'ils avaient obtenus sur six échantillons, dont quatre lignites.

Voici, en regard des caractéristiques des échantillons, les quantités de goudron obtenues :

	Houilles.		Lignites.			
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Humidité.....	1,5	0,5	5,5	15,0	55,0	26,0
Matières volatiles.....	17,5	14,5	37,0	40,0	30,0	31,5
Cendres.....	11,5	17,0	13,0	10,0	10,0	11,5
Carbone fixe.....	69,5	68,0	44,5	35,0	5,0	31,0
Azote.....	1,2	0,7	1,2	0,7	0,7	0,5
Goudron pour 100 de matières volatiles.....	6,0	8,5	20,5	17,0	13,0	11,5

Bien que les habiles expérimentateurs se soient attachés à éviter les décompositions pyrogénées des vapeurs, dans l'appareil Copaux, on n'évite pas absolument le cracking et il en résulte que les carbonisations et distillations à température assez élevée donnent plus de produits légers et de gaz; mais l'échauffement trop rapide des combustibles avant 500° provoque une pyrogénéation des vapeurs goudroneuses, ce qui diminue la quantité totale de produits liquides recueillis.

Pour chiffrer leurs résultats, MM. Laffargue et Jaugey ont rapporté les quantités de produits à 100<sup>kg</sup> de *matières*

*volatiles*; on peut faire observer que la teneur en matières volatiles n'était pas déterminée dans les conditions mêmes où se faisaient les distillations et, qu'en conséquence, cette manière de présenter les résultats n'est pas irréprochable. Cependant, il est difficile de faire, autrement, des comparaisons utiles.

On voit tout de suite que les lignites contiennent plus de goudron que les houilles et que l'échantillon le plus humide n'est pas celui qui contient moins de goudron. Les expérimentateurs ont constaté, une fois de plus, que les qualités des divers gisements étaient très différentes.

Dans les conditions de leurs expériences, les récoltes en goudron, en gaz, en ammoniaque, croissent avec la température finale de l'opération, mais les produits qui distillent changent progressivement de nature aux différentes phases :

*Première phase.* — C'est aux températures très basses et jusque vers  $400^{\circ}$  que passent : les *matières volatiles analogues aux pétroles*, l'eau de réaction et l'anhydride carbonique.

*Deuxième phase.* — Ensuite il se dégage des huiles, riches en *phénols*, généralement dépourvues de naphthaline et d'anthracène, mais contenant plus ou moins de *paraffine* et accompagnées d'un gaz très chargé de méthane.

*Troisième phase.* — Il vient un moment, où les huiles qui distillent s'épaississent du fait de la présence de carbures insolubles, tandis que les matières volatiles restant dans les combustibles se dégagent pour la plus large part en *gaz très chargé d'hydrogène*.

On peut donc fixer par tâtonnements la température la plus avantageuse pour terminer la distillation. Il n'y a pas seulement une température *optimum*; mais encore une durée (ou plus exactement une vitesse) de chauffage qu'il faut observer pour obtenir un résultat déterminé. Veut-on

du gaz ? on chauffe vite et fort; veut-on des huiles ? on chauffe lentement et un peu moins.

L'influence de la vitesse d'échauffement est illustrée par le tableau suivant des résultats des carbonisations d'un même lignite : en *six heures*, puis en *neuf heures* (1).

		6 h.	9 h.
Résultats par tonne	{ goudron .....	55kg	65kg
	{ gaz.....	170m <sup>3</sup>	130m <sup>3</sup>

Il semble que l'on ait abusé du terme *distillation à basse température* et des bienfaits que l'on en peut tirer; il vaut mieux sans doute : bien répartir l'échauffement et pour cela chauffer aussi lentement qu'il est nécessaire avec l'appareil dont on dispose; éviter l'accumulation des vapeurs sur des parois surchauffées et pousser la température tant qu'on retire de nouveaux produits utiles, jusqu'à 800° par exemple.

Contrairement à l'avis du docteur Roser (2) qui fixe arbitrairement à 500° la température maximum, MM. Laffargue et Jaugey ont trouvé qu'il passe souvent encore des huiles intéressantes après 650° et que le dégagement d'ammoniac ne devient actif qu'entre 500° et 700°. Deux lignites seulement (nos 5 et 6) donnaient des huiles au-dessous de 400°, ce sont précisément les gisements particulièrement riches en *paraffine* et en *huiles de graissage*.

Bien que les Allemands prétendent que 15 pour 100 des huiles soient propres au graissage (3) et qu'aux mines de Blanzv, on aurait trouvé par carbonisation à basse température des huiles voisines des pétroles et des huiles de schistes avec 30kg d'huiles de graissage par tonne de houille (4); ces rendements n'ont pas été retrouvés par les expérimentateurs et particulièrement par M. Goutal, chef des Tra-

(1) LAFFARGUE ET JAUGEY, *Annales des Mines*, n° 5, 1922, p. 333.

(2) TREMPKLER, *Verein deutsh. Ing.*, novembre 1920.

(3) FISCHER, *Stahl und Eisen*, avril 1917.

(4) *Écho des Mines et de la Métallurgie*, juin 1918.

vaux chimiques à l'École supérieure des Mines, qui a étudié les goudrons tirés des six échantillons, dont nous avons donné les caractéristiques; seuls, les deux derniers échantillons contiennent des huiles propres au graissage en quantité appréciable.

Les *benzols* et *huiles légères* passant jusqu'à 180° dans la distillation des goudrons sont peu abondants (2 pour 100 environ des matières volatiles; 15 pour 100 environ du goudron). Les huiles *moyennes* contiennent beaucoup de *phénols*, elles sont totalement *exemptes de naphthaline et d'anthracène*.

Les *huiles lourdes* qui passent de 240° à 315° contiennent, à partir de 280°, une quantité notable de *paraffine*, les brais des goudrons très paraffineux sont encore visqueux à 315°. Les huiles lourdes peuvent être utilisées comme huiles de lavage ou comme huiles de Diesel.

La production d'*ammoniaque*, même dans les meilleures conditions de chauffage progressif, est plutôt inférieure à celle que l'on obtient par la distillation à haute température des houilles à gaz ou à coke. Cependant, dans les conditions des expériences, les lignites donnent plus d'*ammoniaque* que les houilles. Le dégagement d'azote dépend d'ailleurs de la durée de l'opération; aussi, le lignite n° 5 chauffé progressivement jusqu'à 700° a donné 0<sup>kg</sup>,450 d'azote ammoniacal à la tonne; chauffé plus brutalement jusqu'à 800°, il n'a plus donné que 0<sup>kg</sup>,350.

Il faut remarquer d'ailleurs qu'il reste beaucoup d'azote dans le demi-coke, dont on peut retirer beaucoup d'*ammoniaque* par gazéification humide.

Les huiles légères peuvent contenir, grâce à la progressivité du chauffage, des produits particuliers de valeur, par exemple, dans l'un des lignites, des produits sulfurés volatils comme l'*ichtyol*. Il en résulte que le soufre, presque toujours gênant, peut donner parfois un profit.

On doit se montrer prudent et ne pas généraliser, lors-

qu'on parle de produits aussi différents l'un de l'autre que les lignites. Quelques exemples, d'après MM. Laffargue et Jaugey, vont illustrer cette constatation.

*Exemples de jugements particuliers* (1). — 1<sup>o</sup> Une houille du Gard donne un demi-coke friable, difficile à employer tel quel ou à agglomérer. Une haute teneur en azote (1,25 pour 100) engagerait à faire passer le coke au gazogène, si l'on avait des débouchés pour la vente de l'électricité produite par des groupes électrogènes à gaz. Il vaut mieux s'en tenir provisoirement à la vente directe.

2<sup>o</sup> Un lignite du Sud-Est ayant été soumis à des études comparatives, voici, au cours de mars 1920, la valeur des sous-produits par tonne de combustible :

	Valeur des sous-produits.	Nombre de kilow.-heure.
a. Distillation à basse température et combustion du demi-coke sous chaudières.....	145 fr	360
b. Distillation à basse température et gazéification du demi-coke.....	200	815
c. Gazéification directe du combustible cru.....	96	1350

Les deux dernières solutions sont équivalentes, mais la dernière est d'installation moins coûteuse et la mine est bien placée pour la vente de son électricité, de sorte que l'on peut s'arrêter à l'opération c.

3<sup>o</sup> Au contraire, un lignite du Sud distillé à basse température donne 425<sup>fr</sup> de sous-produits à la tonne, dont 350<sup>fr</sup> d'huiles à ichtyol.

La gazéification du demi-coke donne en outre 75<sup>fr</sup> de sous-produits. On arrive ainsi à un total de 500<sup>fr</sup> et de 825 kilowatts-heure alors que le traitement direct au gazogène

(1) LAFFARGUE ET JAUGEY, *Annales des Mines*, 5<sup>e</sup> livraison 1922.

gène ne donnerait que 65<sup>fr</sup> de sous-produits et 1200 kilowatts-heure.

4° Un lignite du Sud donnait des goudrons assez riches en huiles (20 pour 100), mais peu abondants eux-mêmes, les produits légers ne contenaient que peu de composés sulfurés intéressants; la mine a dû renoncer aux distillations à basse température. Elle pourrait sans doute assurer son avenir en se réservant l'alimentation au gaz pauvre d'une centrale électrique et en passant au sécheur le reste de sa production destiné à des transports lointains.

**Séchage du lignite.** — Le séchage est intéressant aussi pour les lignites destinés à subir la carbonisation et la distillation, car on peut traiter dans la même cornue, à chaque opération, une plus grande quantité de combustible. Cependant une certaine humidité n'est pas sans aider un peu la distillation, et, comme il faut toujours la même quantité de chaleur pour enlever l'eau, on peut penser que le séchage est inutile dans ce cas et qu'il vaut mieux même ne pas s'exposer à perdre, dans cette opération préliminaire, quelques carbures légers.

Sous cette réserve, nous pouvons signaler qu'au dernier Congrès, à *Halle*, on a préconisé le procédé suivant de séchage et de pulvérisation des lignites.

Le combustible tout-venant est d'abord concassé dans un broyeur à la grosseur d'une noix, puis est séché dans un trommel Butner, où il est brassé par des palettes en forme de croix.

On brûle du lignite sur une grille à étage; les gaz de ce foyer sont aspirés dans le trommel à l'aide d'un ventilateur; sous l'influence d'une température excédant de 62° au plus la température initiale, le lignite ne laisserait échapper aucun carbure léger. Par suite de l'aération continuelle, les carbures non saturés tendent à s'oxyder, ce qui diminue les risques d'inflammation spontanée ultérieure.

On a remarqué qu'il était inutile d'abaisser l'humidité au-dessous de 15 pour 100, car le lignite est hygrométrique et absorberait alors l'humidité jusqu'à incorporer de nouveau 15 pour 100 d'eau. Il existe des trommels capables de ramener à 15 pour 100 des combustibles à 60 pour 100 d'eau pour des débits journaliers de 30 à 300 tonnes. L'évaporation de 1<sup>kg</sup> d'eau dans cet appareil nécessite de 900 à 1000 calories. Le charbon sec passe dans un broyeur à trois cylindres, d'où la poussière aspirée se dépose dans un séparateur.

#### Procédés industriels de carbonisation des lignites. —

L'industrie du lignite est née à Weissenfels aux confins de la Saxe et de la Thuringe.

Les premiers fours de Weissenfels étaient à cuve chargés par le haut en couronne sur des chapeaux de tôle et chauffés, partie avec du lignite et partie avec les gaz ramenés par une tubulure. Un four de 7<sup>m</sup> de haut, 1<sup>m</sup>,60 de diamètre et 3<sup>m</sup><sup>2</sup> de surface utile, pouvait traiter 3 tonnes de lignite par jour.

On a vite remarqué qu'en distillant en dépression, de façon à établir un courant empêchant la destruction des carbures, on augmentait le rendement en gaz et en produits légers. Aussi cette méthode est-elle généralement employée dans tous les procédés industriels actuels.

*Four Ziegler.* — Le four Ziegler ressemble encore aux premiers fours employés (*fig. 2*).

Le lignite déversé à la partie supérieure de la cornue verticale descend lentement dans l'espace annulaire que laissent, dans cette cornue, les couronnes en fonte qui y sont empilées et à l'intérieur desquelles se rassemblent les gaz et les vapeurs aspirés vers les appareils de récupération. Le coke est expulsé toutes les 50 minutes dans un sas jouant le rôle d'étouffoir.

Le même four contient 11 cornues de 7<sup>m</sup> de hauteur

et de 1<sup>m</sup>,80 de diamètre, chauffées par les gaz de distillation après séparation des sous-produits.

Ce four ne permet de recueillir que le tiers environ du goudron primaire. Cela n'a pas trop d'inconvénient avec les lignites saxons, riches de 24 pour 100 de leur poids en gou-

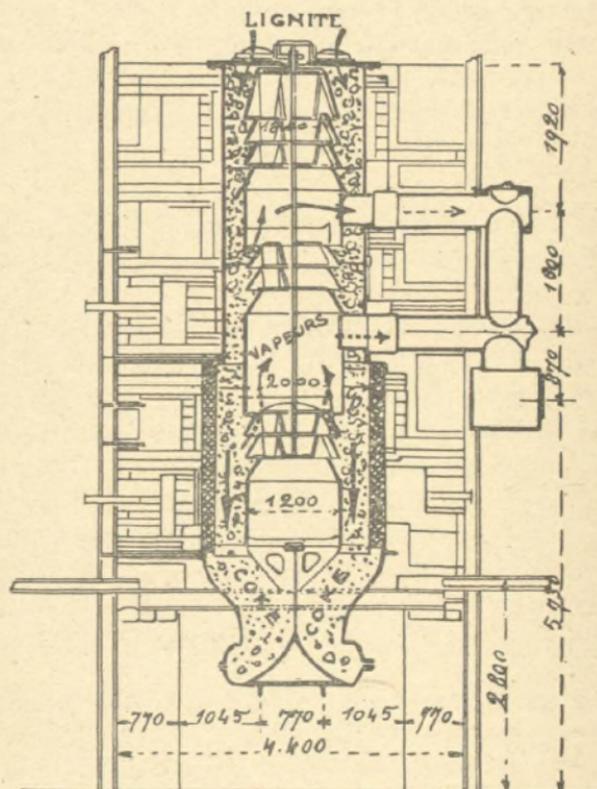


Fig. 2. — Four continu de Ziegler pour la carbonisation.

dron, mais il faut en général rechercher des appareils d'un rendement plus élevé.

Bien que l'Angleterre n'ait que fort peu de lignites, il en existe dans ses dominions : Canada, Australie, Natal; d'autre part, les recherches effectuées au sujet de la car-

bonisation de la houille dans ce pays ont abouti à des fours verticaux très intéressants pour la carbonisation des lignites.

*Four Darnsby.* — La Société « Low Temperature Car-

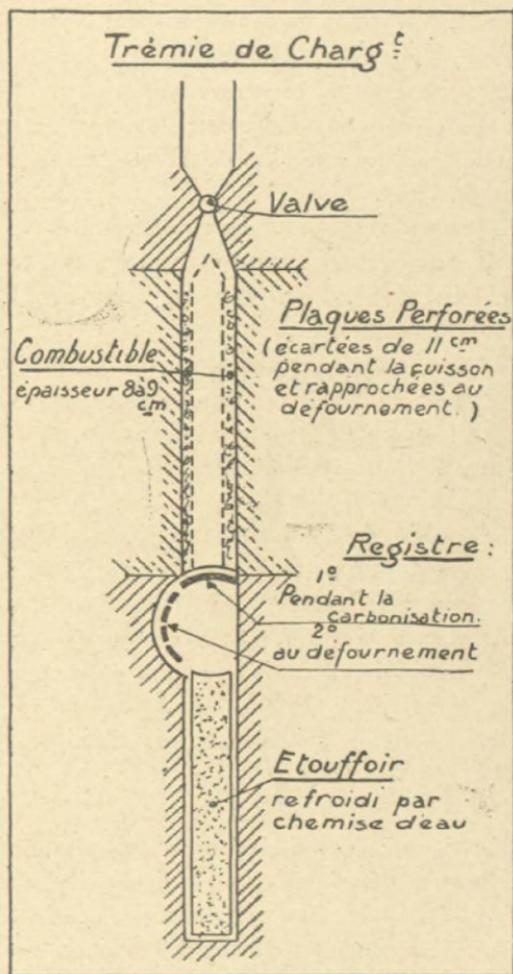


Fig. 3. — Élément de carbonisation Darnsby.

bonisation » emploie le four Darnsby pour la carbonisation de la houille, notamment à *Barugh* (Yorkshire). Le procédé

est généralement désigné sous le nom de procédé de la « coalite ».

Un élément capable de carboniser 500<sup>kg</sup> de charbon en 8 heures se compose (*fig. 3*) de deux parties séparées par un évasement, où peut se mouvoir un registre rotatif.

Le charbon, provenant d'une trémie, tombe entre les parois réfractaires de la chambre supérieure chauffée au gazogène et des plaques verticales en acier au manganèse qui laissent entre elles un vide de 10<sup>cm</sup> à 12<sup>cm</sup> destiné au dégagement des gaz.

Sous l'influence de la chaleur croissante, le charbon fond, colle d'abord aux parois, puis se contracte et durcit lorsqu'on atteint 600°. Le lignite ne colle pas, il devient au contraire pulvérulent.

Lorsque la cuisson est terminée, un mécanisme rapproche de 5<sup>cm</sup> les plaques P et leur communique un mouvement de cisaille. On efface alors le registre et les masses de « coalite » tombent dans l'étaffoir inférieur refroidi par circulation d'eau.

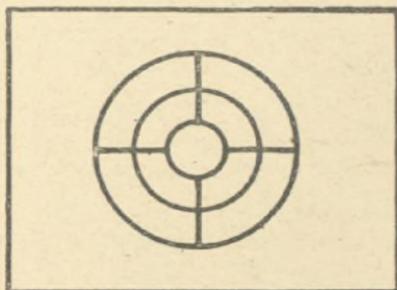
Avec le procédé de la « coalite » (four Darnsby) une tonne de houille donnerait en moyenne : 81<sup>kg</sup> de demi-coke à 8-10 pour 100 de matières volatiles; 90 litres de goudron et 167<sup>m<sup>3</sup></sup> de gaz, moins de gaz par conséquent que par les procédés ordinaires, mais un gaz riche de 6500 à 7000 calories, au lieu de 4000 à 4500.

L'inconvénient de ce procédé, c'est d'exiger des constructions coûteuses.

*Procédé Tozer.* — Le procédé Tozer est appliqué à Londres dans une usine de démonstration, qui a traité un nombre considérable d'échantillons de lignite. Des usines sont en construction au Japon, en Italie, au Natal, au Canada, en Australie et en France, aux Mines de Lалуque (Landes).

M. Tozer, ayant expérimenté diverses cornues, constata que la carbonisation ne pouvait s'effectuer convenablement sans incuits, en 4 ou 5 heures, que si la couche de charbon

ou de lignite n'excédait pas une épaisseur de 5 pouces, soit 127<sup>mm</sup>. Des cornues d'une aussi faible épaisseur seraient fort encombrantes, si M. Tozer n'avait songé à distribuer le lignite dans des sections annulaires concentriques (*fig. 4*),



*Fig. 4.* — Cornue Tozer (coupe transversale).

reliées entre elles par des rayons métalliques qui assurent une égale température dans toute la cornue en fonte ainsi constituée.

La capacité d'une cornue peut être augmentée dans une certaine mesure par l'accroissement de sa hauteur. On peut aussi agir sur son diamètre si l'on a soin de conserver la même distance entre les anneaux concentriques.

Il y a intérêt à réduire le temps de l'opération et à favoriser le dégagement des vapeurs, qui auraient tendance à se décomposer, même à la température relativement basse (1000° F. ou 538° C.), à laquelle se fait l'opération, si elles séjournaient contre les parois des cornues.

A cet effet, le tube central de la cornue (*fig. 5*) n'est pas rempli de lignite. Dans les divers logements annulaires, les valeurs produites ont deux cheminements pour s'échapper : une partie monte directement, l'autre qui descend emprunte le tube central pour rejoindre la première et, comme elle provient des parties les plus chaudes, elle contribue à la régularisation de la température à l'intérieur

de la cornue. Une pompe produit d'ailleurs, dans les canalisations, une dépression favorable.

Les cornues Tozer sont disposées en batteries, noyées dans un bloc de maçonnerie, qui contient les carneaux

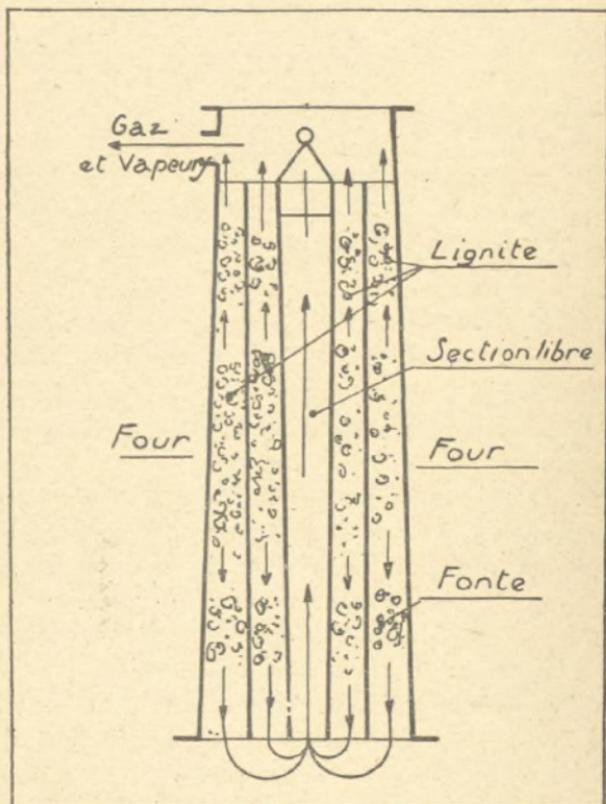


Fig. 5.— Cornue Tozer (coupe longitudinale).

d'arrivée des gaz de chauffage, les régénérateurs, les tuyauteries de départ des gaz de distillation. Ce massif porte la plate-forme de chargement avec ses dispositifs mécaniques très simples et encadre, au-dessous des cornues, les étouf-

foirs de coke et les dispositifs d'évacuation. La manœuvre est simple et le rendement calorifique est excellent.

Les cornues entourées de gaz brûlés n'ont aucun contact avec la flamme et leur température ne dépasse pas le rouge sombre; elles sont donc dans de bonnes conditions de durée.

Pendant le chargement, on a soin évidemment de boucher le tube central, afin d'éviter toute chute de lignite dans cette sorte de cheminée. Le déchargement s'opère au moyen de portes à contrepoids.

Le coke que l'on obtient est un coke riche, contenant encore une grande quantité de matières volatiles; ce coke aggloméré avec 3 à 4 pour 100 de brai donne un combustible solide, noir, brûlant facilement sans grille spéciale, sans fumée, sans odeur avec une flamme courte et brillante et possédant pour certains lignites à faible teneur en cendres un pouvoir calorifique de 6400 à 6500 calories, en *tous points comparable aux charbons anglais*, dont le pouvoir calorifique oscille aux environs de 6600 calories. Ce combustible pourrait donc se vendre facilement, dans le midi de la France, au prix de 180<sup>fr</sup> la tonne. C'est là un profit immédiat à tirer de ce procédé vraiment pratique et que nous avons eu l'occasion d'expérimenter longuement.

Quant aux gaz et vapeurs, ils sont lavés et condensés autant que possible. Les gaz restants retournent aux fours, si l'on ne peut les utiliser autrement. Les benzols extraits sont joints aux benzols que l'on tire de la distillation des huiles brutes condensées. On a, en outre, du sulfate d'ammoniaque que l'on joint, si l'on veut, au sulfate obtenu par gazéification ultérieure du coke que l'on ne voudrait pas briqueter.

Les installations projetées sont formées du groupement en batteries des cornues dont chacune est capable de carboniser 5 tonnes par jour. On peut ainsi réaliser des groupes d'une capacité quotidienne de 100, 250 et 1000 tonnes.

Les bénéfices de l'opération dépendent beaucoup de

la qualité des lignites que l'on traite et du prix de revient de ce combustible sur le carreau de la mine. Les exploitations qui peuvent s'effectuer à ciel ouvert au moyen d'excavateurs ou de pelles à vapeur sont privilégiées à ce point de vue, mais nous ne connaissons que les mines de Lалуque en France qui présentent ces facilités.

Dans une petite installation anglaise traitant un lignite de 20 pour 100 d'humidité qui donne, par tonne, environ 2 gallons (9 litres) d'essence ou de benzol, 14 gallons (63<sup>l</sup>,64) d'huile brute et 12 cwt (600<sup>kg</sup>) de coke, le bilan des opérations peut s'établir de la façon suivante :

1 tonne de lignite.....		5 s. 0 d.
Main-d'œuvre, entretien, amortissement.....		7 s.
2 gallons de « motor spirit » à 2/3.....	4 s. 6 d.	
14 gallons de crude oil à 6 d.....	7 s.	
	<hr/>	<hr/>
	11 s. 6 d.	12 s. 0 d.

La différence, 6 pence (0<sup>fr</sup>,66 au pair), représente le prix de 12 cwt de coke (600<sup>kg</sup>).

Le briquetage de cet excellent combustible revient à Londres à 4 ou 5 s. et ce prix comprend surtout le prix du brai nécessaire pour l'agglomérer, brai qui se trouve comme résidu dans la distillation des huiles brutes. On voit donc combien une telle entreprise peut être brillante.

*Procédé Johns.* — La Société « The Industrial Process Engineering Co » a expérimenté très longuement en Amérique un procédé qu'elle se propose d'appliquer industriellement (*fig. 6*).

Il s'agit d'une distillation continue de produits pulvérolents sous l'action d'un chauffage progressif. Une cornue inclinée comprend une partie située immédiatement au-dessus du foyer et une autre chauffée indirectement. Le combustible est placé dans la cornue sur une sole inclinée, au-dessus de laquelle un transporteur à palettes et racloirs

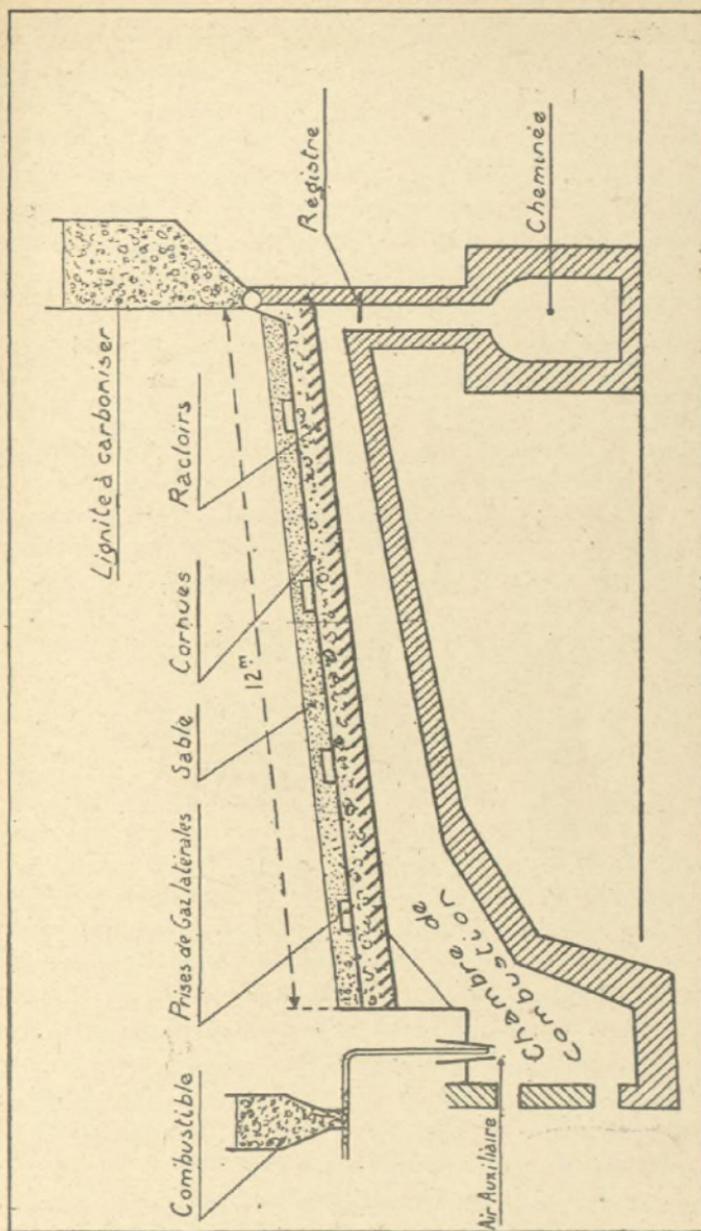


Fig. 6. — Procédé Johns (coupe longitudinale).

régularise l'épaisseur de la couche pulvérisée, qu'il entraîne progressivement vers les parties les plus chauffées.

La pulvérisation préalable de la matière à traiter est avantageuse, non seulement pour la rapidité et l'économie du chauffage, mais aussi pour la quasi-fluidité qu'elle acquiert et qui facilite son déplacement sur la sole. Préalablement à la carbonisation, le combustible est broyé jusqu'à ce que la poudre obtenue ne laisse que 50 pour 100 de son poids sur un tamis de 100 mailles par carré de 25<sup>mm</sup> de côté.

La matière pulvérulente est conduite à l'extrémité supérieure de la chambre la moins chauffée où une partie des vapeurs s'échappe; le reste est extrait de la seconde chambre et le tout se rend aux appareils de condensation. Le coke résiduaire tombe dans un étouffoir refroidi par l'eau.

Ce procédé est rationnel, il réalise le chauffage progressif en couche mince et régulière; il pourra donner de bons résultats s'il est mis au point convenablement.

*Four tournant de Fischer.* — Ce four est connu depuis

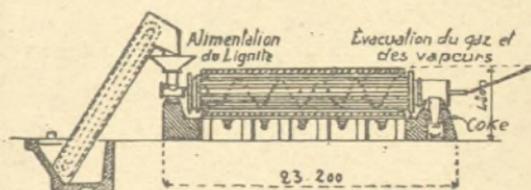


Fig. 7. — Four rotatif Fischer.

longtemps pour la cuisson des ciments. Son application à la carbonisation économise la chaleur nécessaire, par suite du renouvellement des couches de combustible en contact avec la paroi chaude. Il convient cependant de prendre des précautions pour éviter la surchauffe du lignite introduit et la décomposition pyrogénée des vapeurs qui s'ensuivrait : l'introduction de vapeur d'eau n'est qu'un palliatif. Il faut dire aussi que tout défaut d'étanchéité des presse-étoupe peut causer, non seulement une perte de produits,

mais encore des rentrées d'air, qui altèrent les vapeurs goudronneuses.

Un four Fischer, capable de carboniser en 24 heures 80 tonnes de lignite, doit avoir 20<sup>m</sup> de long et 2<sup>m</sup> de diamètre (*fig. 7*).

*Four à malaxeur intérieur Salerni.* — Des cornues horizontales sont accolées suivant leurs génératrices, de façon à former une sorte de sole ondulée sur laquelle chemine le lignite, lentement entraîné par des palettes solidaires d'axes traversant la cornue et recevant par roues dentées, leur mouvement de l'extérieur. Ainsi la chaleur est bien répartie et le chauffage est progressif.

L'installation et le fonctionnement de ce four paraissent économiques et rapides. Il présente, par contre, l'inconvénient d'avoir des organes mécaniques qu'il n'est pas impossible d'ailleurs de réaliser solidement.

**Les gazogènes à récupération.** — Les procédés qui précèdent sont relatifs à la carbonisation à basse température, ou tout au moins à température modérée. On peut, dans une certaine mesure, augmenter le rendement en huiles en augmentant la température, si l'on évite tout cracking par un entraînement rapide des vapeurs; mais le coke que l'on recueille contient beaucoup moins de matières volatiles. Si l'on recherche surtout le gaz, le doute n'est plus possible, il faut opérer à haute température, c'est-à-dire entre 700° et 800°.

En supposant que tous les sous-produits puissent se vendre facilement et que l'on puisse utiliser le gaz, le traitement rationnel consisterait à diviser l'opération en deux phases : l'une à température relativement basse, pendant laquelle on recueillerait les vapeurs riches en huiles et en paraffine; l'autre à haute température, pendant laquelle on ferait du gaz et de l'ammoniaque.

Les Allemands emploient volontiers les gazogènes pour le traitement des lignites, non sans inconvénient d'ailleurs, car, trop souvent, le goudron primaire s'altère aussitôt sous l'influence de la chaleur et de l'oxygène contenu dans le gaz et il se forme une quantité élevée de créosote aux dépens des paraffines. Nous n'insisterons pas sur ces appareils qui ont déjà été décrits, ni non plus sur les autres fours germaniques, nous rappellerons seulement les principes de leur fonctionnement.

*Gazogène Mond.* — Ce gazogène est bien connu, il comprend une zone de séchage, une zone de carbonisation et une zone de cokéfaction, que le combustible parcourt en descendant.

Les températures s'étagent de la façon suivante : au-dessus du combustible, les gaz sont à  $290^{\circ}$  au maximum; au-dessous, dans la zone de carbonisation et dans l'axe de la cuve, les températures varient de  $300^{\circ}$  à  $470^{\circ}$ ; sur les parois, la variation est de  $450^{\circ}$  à  $710^{\circ}$ .

Cette répartition théorique des températures n'est pas toujours réalisée, ce qui nuit au rendement.

La condensation du goudron primaire de ces gazogènes a fait l'objet de beaucoup de recherches. Les épurateurs Thyssen consomment beaucoup d'énergie et l'on préfère s'en tenir à des tours de lavage, où le gaz se dégoudronne à la température de  $80-90^{\circ}$ .

*Gazogène à double gaz.* — La chambre de carbonisation, qui se trouve à la partie supérieure, est chauffée par les produits de combustion du gaz de soufflage circulant dans les carneaux; le gaz de distillation est évacué à la partie supérieure de cette chambre.

On souffle d'abord de l'air chaud, puis on injecte de la vapeur, ce qui donne du gaz à l'eau. Une partie de ce gaz traverse la chambre inférieure où s'opère la cokéfaction. On procède ainsi par insufflations alternées d'air chaud

(1 à 2 minutes) et de vapeur (6 à 8 minutes). Le gaz obtenu est un mélange de gaz de lignite et de gaz à l'eau qu'on lave suivant les méthodes nouvelles.

Ce procédé est employé à Gratz, à Brünn et à Fiume.

*Procédé du trigaz.* — Un gazogène à grille rotative comprend une zone large et une zone étroite, dans lesquelles la température croît régulièrement du sommet à la base pour le séchage, la cokéfaction et la gazéification du lignite. On souffle alternativement à gauche et à droite, au niveau d'entrée du coke dans la zone de gazéification. Le gaz se produit pendant la période de soufflage, tandis que, durant la période d'injection de vapeur d'eau, le gaz à l'eau surchauffé abandonne dans la chambre de carbonisation la chaleur nécessaire à cette opération.

Mathias Stinnes produit ainsi près d'Essen, depuis 1918, le gaz de chauffage à l'aide d'une batterie de fours à coke. L'installation comporte trois gazogènes, qui traitent 12 à 15 tonnes par jour. On traite un mélange comportant 1 partie de lignite rhénan brut pour 3 parties de charbon concassé en morceaux de la grosseur d'une noix : le lignite brut s'émiette et empêche l'agglutination de la houille. Avec une houille à 10 pour 100 de cendres, un lignite à 50 pour 100 d'humidité, on obtient, par tonne, environ 1800<sup>m</sup>3 de gaz à 2960 calories et 100<sup>kg</sup> de goudron. Le goudron primaire renferme 3 à 5 pour 100 de paraffine solide, beaucoup de phénols supérieurs, très peu de carbone libre et pas de benzène; par distillation, il donne surtout des huiles à Diesel et une petite quantité d'huile de graissage.

**Autres fours.** — Nous pourrions parler des fours de Fellner et de Thyssen, des fours Weissenberger qui carbonisent à Brünn, en Tchéco-Slovaquie, 100 tonnes par jour : le lignite, disposé en couches minces est balayé len-

tement et mécaniquement dans un tambour fixe horizontal.

Nous examinerons d'ailleurs dans la suite d'autres procédés, particulièrement le four Pieters en usage à La Cautette, et nous reviendrons en détail sur les considérations qui précèdent

L'inconvénient principal des fours continus, particulièrement des fours rotatifs, est de permettre des entrées d'air qui viennent abîmer les carbures. Il faut d'ailleurs se méfier de l'élégance apparente des solutions fournies par les procédés continus.

Si l'on n'a pas pris la précaution de se pourvoir de matériel de rechange en quantité suffisante, toute l'installation se trouve parfois arrêtée pour peu de chose. D'autre part, si l'on calcule bien tous les frais, on s'aperçoit que l'économie de main-d'œuvre n'est pas aussi incontestable qu'elle apparaissait tout d'abord, quand on ne comptait pas le personnel affecté à la surveillance et aux réparations.

Nous ne pouvons donc recommander d'une manière absolue les procédés continus. D'ailleurs dans une grande installation, une série de cornues à marche individuelle discontinue peut être exploitée comme une batterie continue; il suffit par exemple de décaler les temps de chargement, de sorte que le matériel et l'équipe chargée des manœuvres soient utilisés régulièrement sans arrêt.

Chaque installation doit être étudiée pour le lignite qu'elle traite, et l'on peut compter sur de nouveaux progrès. Cependant des procédés comme celui de Tozer conduiraient à des bénéfices certains et permettraient de faire démarrer, en France, l'industrie de la carbonisation des lignites près de la plupart des gisements. Mieux vaut ne pas rechercher tout de suite l'idéal et exploiter commercialement les mines de lignite par des procédés ayant fait leurs preuves, que de laisser improductive une telle richesse en attendant des perfectionnements. Il appartient à l'État d'user de son influence pour favoriser les entreprises lignitifères,

bien que cela ne soit nullement indispensable à leur succès : il suffit que les administrateurs des mines de lignites comprennent bien leurs intérêts.

Nous n'avons envisagé, jusqu'à présent, que les ventes des produits immédiats de la carbonisation : combustible briqueté sans fumée à 6000-6500 calories, essence ou benzol, huiles brutes ou goudron; nous avons donné par un exemple une idée des bénéfices certains de l'opération dans tous les gisements de qualité convenable et d'extraction facile.

Nous examinerons, dans la suite de cet Ouvrage, les autres moyens de tirer parti des lignites et particulièrement des sous-produits de la distillation des goudrons, notamment des paraffines, opérations secondaires dont le rendement dépasse sans doute celui de l'opération principale.



---

## CHAPITRE II.

### CARACTÈRE DES LIGNITES ET CLASSIFICATION.

---

SOMMAIRE. — Grande diversité des lignites. — Bois fossile. — Bois bitumineux. — Lignites terreux. — Lignites communs : fibreux, ternes, massifs, schisteux, friables, ternes et terreux. — Lignites pisciformes, commun, jayet et caudelaires.

**Grande diversité des lignites.** — Le lignite est employé depuis longtemps. C'est peut-être le plus ancien combustible minéral connu. Le  $\lambda\theta\chi\theta\rho\alpha\zeta$  des Grecs et le *carbo-fossilis* des Romains sont vraisemblablement des lignites qui, ayant encore conservé leur ligneux, ressemblaient beaucoup plus à  $\rho\alpha\nu\theta\rho\alpha\zeta$  et au *carbo* (charbon de bois) que la houille. Virlet d'Aoust a retrouvé d'ailleurs sur les bords du Cladens, affluent de l'Alphée, le gisement de  $\lambda\theta\chi\theta\rho\alpha\zeta$ , signalé par Théophraste comme combustible servant aux maréchaux; ce combustible est un lignite passant au jayet.

L'aspect des lignites est très variable. Ils offrent parfois la texture fibreuse du bois (*lignum*) d'où vient leur nom, mais il n'est pas toujours possible, même pour un œil très exercé, de distinguer la structure organique des végétaux qui ont servi à le former.

Il est particulièrement difficile de définir, en peu de mots, les combustibles dont il s'agit.

On confond, en effet, sous le nom de *lignites*, nous l'avons déjà dit mais nous devons insister, un grand nombre de produits différents à différents étages de transformations.

Tous les combustibles proviennent de végétaux plus ou moins décomposés et enfouis dans les terrains, mais leurs caractéristiques proviennent de la nature des végétaux, de l'époque de leur formation et des modifications qu'ils ont subies depuis. En suivant l'ordre d'ancienneté, nous pouvons passer, des anthracites, aux houilles de différentes natures, des houilles aux dépôts de lignite; de ceux-ci aux amas de tourbe qui sont encore en formation, et des tourbes mousseuses, couches supérieures de ces amas, aux bois et aux autres végétaux qui croissent à présent. Toutes ces variétés étant reliées entre elles par des formations de transition qui permettraient de retracer assez bien l'histoire de la végétation sur notre planète. Il est bien évident que la qualité d'un lignite dépend : des végétaux qui l'ont formé, de l'ancienneté du gisement et des diverses circonstances qui l'ont modifié au cours des âges. Dans les marais tourbeux croissent plus de 500 variétés de plantes; on peut concevoir qu'il y ait quelque diversité aussi dans les qualités de lignites, tourbes très anciennes où cependant on semble retrouver moins de végétaux divers.

Les lignites sont les houilles des terrains tertiaires ou de formation postérieure à la craie; ils se trouvent dans l'argile plastique et dans les calcaires d'eau douce. On en distingue un grand nombre de variétés : bois fossile, bois bitumineux, lignite commun, lignite terreux.

Très chargé d'humidité, le bois fossile, brun plus ou moins foncé, donne à la carbonisation moins de pyroligneux et d'eau, mais plus d'alcool que le bois. Le bois bitumineux, brun foncé ou noir, à structure feuilletée, donne des huiles. Plus semblable à la houille, le lignite commun *noir* ou *brun*, brûle avec une flamme longue, peu chaude et d'une odeur souvent désagréable. Le lignite terreux contient souvent des pyrites. On classe aussi, suivant leur aspect, les lignites en lignites : ternes, massifs, schisteux, terreux ou friables fibreux.

**Bois fossile.** — C'est le produit qui répond le mieux au nom *lignite*, il a l'aspect du bois brun plus ou moins foncé et participe des propriétés du bois et de la tourbe. Il contient beaucoup d'eau et perd un cinquième de son poids sans s'altérer à la température de l'eau bouillante. Distillé, il donne autant de gaz que le bois, plus d'alcool mais pas de pyroligneux.

Voici, par exemple, une analyse du bois fossile de Bruhl :

C.....	0,5497
H.....	0,0431
O.....	0,2547
Cendres.....	0,1525
	<hr/>
	1,000

Ce bois donne 0,38 environ de charbon, cendres défalquées.

**Bois bitumineux.** — Ce produit est plus foncé que le précédent. Les gisements diffèrent beaucoup les uns des autres.

A Meissen, en Hesse, on trouve, sous une épaisseur de 100<sup>m</sup> de basalte, un combustible feuilleté dont la cassure en travers est conchoïde, luisante, brun foncé ou brun noir. Son poids spécifique est 1,32. Distillé, il donne de l'eau acide, des huiles d'odeur désagréable et laisse du charbon fritté. L'analyse moyenne est la suivante :

C.....	0,371	
Cendres.....	0,014	
Matières volatiles.....	0,615	{ 0,274 gaz 0,341 produits condensables.

**Lignites terreux.** — Cassure mate, brun foncé. Contiennent souvent tant de pyrites qu'ils servent de minerais de couperose et d'alun. *Exemple :*

	Chantilly.	Rouxwiller.
Combustible.....	0,803	0,440
Argile et sable.....	0,066	0,580
Pyrite.....	0,131	0,030

**Lignites communs.** — Noirs ou bruns, compacts, cassure irrégulière, luisante et d'aspect souvent fibreux. Leur densité est d'environ 1,2. Ces lignites, qui donnent des gaz et des huiles, deviennent parfois aussi fluides que l'huile à une température élevée; ils ressemblent alors aux bitumes mous du Bas-Rhin, de l'Aisne et des Landes.

Mais la plupart des lignites sont infusibles; ils se trouvent le plus souvent dans l'argile plastique. Ils se dissolvent en général dans la potasse, qu'ils colorent en brun. Ils laissent en outre, par distillation, un résidu charbonneux semblable à celui de la tourbe.

A l'air libre, ils brûlent avec une flamme peu chaude, claire, un peu fuligineuse, *sans se boursoufler, ni se coller* comme la houille, mais répandent une odeur âcre, piquante ou sulfureuse s'il y a des pyrites. Après la combustion, il reste une cendre pulvérulente, semblable à celle du bois, mais souvent plus abondante, plus terreuse, plus *ferrugineuse*, plutôt rougeâtre que grisâtre.

Ce sont là les caractères les plus généraux, mais on peut dire que chaque gisement a ses propriétés spéciales. Même à l'état sec, les analyses donnent des résultats très différents suivant les variétés. Par exemple, le carbone peut varier de 0,7 à 0,3; les matières volatiles, de 0,2 à 0,6; les cendres de 0,009 à 0,3. Encore verrons-nous que les chiffres peuvent varier beaucoup pour le même échantillon, particulièrement pour les matières volatiles, suivant le procédé employé, lequel doit varier d'après l'utilisation que l'on a en vue.

Nous donnons ci-dessous quelques explications sur les variétés les plus répandues.

**Lignite fibreux.** — Clair ou brun, luisant ou terne, de structure fibreuse plus ou moins serrée, on peut savoir de quels végétaux il provient.

Le fibreux noir ressemble au jayet dont nous parlons plus loin, il est cylindroïde ou bacillaire, c'est-à-dire en baguettes déliées, contournées, entrelacées.

Le fibreux brun terne laisse voir parfaitement la structure du bois, il est tenace comme un bois dur; la variété bacillaire comprend des tiges et des racines d'arbres de la famille des palmiers.

**Lignites ternes.** — Noir brun ou noir de velours à structure massive, schistoïde ou fragmentaire, mais non ligneuse; ils brûlent avec beaucoup de fumée désagréable, laissent beaucoup de cendres souvent rougeâtres et se classent de la façon suivante :

*a. Lignite terne massif.* — Se trouve souvent en bancs puissants et continus avec, parfois, du lignite pisciforme. Exemple : Sainte-Marguerite, près Dieppe; terre de Cassel, Westphalie; île Bornholm; Putschern, près Carbbad; lignite du Soissonnais.

*b. Lignite terne schisteux.* — D'une structure schistoïde imparfaite. Il accompagne la variété précédente et quelquefois la suivante.

*c. Lignite terne friable.* — D'une structure fragmentaire, un peu luisant parfois; il se trouve dans l'Aisne, la Somme, la Seine-Inférieure où il sert au chauffage. Lorsqu'il est impur, sans cohérence, décomposable et lorsqu'il renferme des pyrites, on en retire des sulfates de fer et d'alumine.

*d. Lignite terne et terreux.* — Désigné à cause de son aspect, de couleur noire brunâtre, il ne renferme pas de pyrites, ne donne ni alun, ni couperose, mais un assez bon combustible. Il peut souvent s'agglomérer sans brai sous une pression élevée. On le trouve, près de Cologne, dans la haute Autriche à Wolpeck; en France, près de Château-Thierry et à Lалуque, Rion et Arjuzanx (Landes).

**Lignites pisciformes.** — Compacts, noir luisant, à cassure conchoïde, d'aspect de résine ou de poix. On en distingue trois variétés principales :

*a. Lignite pisciforme commun.* — Structure d'apparence ligneuse, schistoïde et quelquefois fragmentaire; son poids spécifique est de 1,3 environ. Il forme des bancs puissants et se rapproche de la houille; on l'en distingue par sa faculté de brûler sans se coller, ni se boursouffler, et par son gisement géologique.

Cette variété est celle de la plupart des grands dépôts de lignite : Aix, Marseille, Toulon, Vaucluse, Ruette (Ardennes), Lobsan près Wissembourg, Ottoweiler (pays de Berg), Saint-Saphorin près Vevey, Pandex près Lausanne, Kœpfnach (lac de Zurich), qui ont toute l'apparence de la houille schisteuse. Ceux de Heisner (Hesse), d'Unstruth (Thuringe), du district de l'Inn, de Cadibona (golfe de Gênes), de la Spezzia (Ligurie) sont également semblables à la houille. Le gisement de Sarzanne, voisin de la Spezzia, présente cependant la structure ligneuse.

*b. Lignite pisciforme jayet* (jais, succin noir, axabache des Asturies, ou encore pichcoal). — Noir luisant, dense, susceptible de poli, massif mais facile à casser, sa densité varie de 1,2 à 1,7. Il se trouve en lits interrompus ou en nodules dans les bancs de diverses variétés de lignites, jamais seul, souvent même en petit volume au milieu des lignites ternes ou des troncs de lignite fibreux noir.

Le jayet est recherché et exploité comme objet d'ornement; on le trouve à Roquevaire, Marseille, Toulon, Peynier, Belestat (Pyrénées), les Bains, près Carcassonne, à *Sainte-Colombe*, Peyrat et la Bastide (Aude). Il se trouve à une dizaine de mètres de profondeur, en couches obliques, dans des bancs de grès. Les mines des Asturies, de la Galicie, de l'Aragon (Palomar) ont été célèbres.

*c. Lignite pisciforme caudelaire.* — Susceptible d'un poli peu brillant, massif, mais assez facile à casser, noir brunâtre luisant, son poids spécifique est 1,23.

---

## CHAPITRE III.

### GÉOGNOSIE DES LIGNITES.

---

SOMMAIRE. — Formation. — Lignites soissonnais. — Terrains basaltiques. — Lignite de l'île d'Aix. — Terrains salifères. — Lignites superficiels. — Distribution des lignites : France, Rhénanie, Suisse, Hesse, Thuringe, Autriche, Bohême, Hongrie, Italie, Serbie, Grèce et Bulgarie, Pays scandinaves, Angleterre. — Liste des mines de lignite exploitées en France en 1860.

— **Formation.** — Les lignites semblent avoir été formés à des époques très différentes les unes des autres; on peut classer à ce point de vue les lignites français, en : lignites du Lias, lignites de l'île d'Aix, lignites soissonnais, lignites superficiels.

Il y a une grande analogie entre les roches et les minéraux qui composent les terrains lignitifères et les roches et les minéraux des terrains houillers, cela malgré les différences d'âge et de position des deux terrains. Il en résulte que les circonstances essentielles de formation pourraient avoir beaucoup de points de ressemblance, leurs différences résulteraient davantage de l'état de la végétation aux époques considérées que des causes mêmes de formation de ces terrains.

**Lignites soissonnais.** — Le *lignite soissonnais*, en banc continu, se trouve dans le dépôt d'argile plastique, de sable ou de cailloux roulés, au-dessus de la craie et au-dessous du calcaire grossier.

Bien que le lignite soissonnais soit postérieur à la craie,

on peut en trouver sur des terrains plus anciens, accompagné, selon les lieux : de sable quartzeux ténu, de sable ferrugineux, de poudingues siliceux, de grès quartzeux, d'argile plastique jaune rougeâtre, d'argile sablonneuse, parfois de marne argileuse, enfin de fer silicaté verdâtre ou de calcaire grossier.

On y rencontre, en outre, disséminés en nodules, lits ou druses, les minéraux et minerais suivants : quartz hyalin cristallisé, agate, strontiane sulfatée en cristaux bleuâtres, calcaire spathique, gypse sélénite, fer sulfuré, oxydé, hydraté ou carbonaté, lithoïde. Parmi les minéraux combustibles de composition analogue à celle des matières organiques, on y trouve, toujours suivant les gîtes : le succin, les résines succiniques ou fossiles, jaunes, friables, sans acide succinique, le mellite, le bitume-pétrole.

On y remarque des fossiles, sans pouvoir distinguer ceux qui vivaient au moment de la formation des dépôts de ceux qui y ont été enfouis ou transportés lors de révolutions postérieures. On y distingue nettement la structure de plantes ligneuses, échangées tantôt en lignite fibreux brun, tantôt en lignite pisciforme, tantôt en silex et parfois partie en silex, partie en charbon fossile.

Si l'on consulte la liste des végétaux le plus communément observés on est surpris de voir : que les végétaux aquatiques ne dominent pas; que beaucoup de plantes ne vivent plus dans les cantons considérés; qu'il n'y a aucune plante marine, ni aucune fougère (1).

Ceci peut donner une idée des circonstances différentes de formation des terrains carbonifères et lignitifères, composés tous deux d'une accumulation immense de matières

---

(1) On peut distinguer les lignites autochtones, formés de végétaux non transportés, des lignites de première allochtonie qui ont été transportés avant d'être fossilisés et des lignites de deuxième allochtonie qui ont été transportés à l'état fossile.

végétales enfouies sur place. Dans les premiers, composés exclusivement de végétaux terrestres, il n'y a eu que très peu de végétaux étrangers transportés et mêlés; dans les seconds, au contraire, la masse des plantes étrangères et transportées est souvent plus considérable que la masse indigène; on n'y voit pas de végétaux fortement adhérents au sol terrestre, c'est-à-dire non aquatiques comme les fougères, ni de feuilles adhérentes aux tiges. Dans les dépôts de lignites, les végétaux se croisent dans tous les sens, ils ne sont pas tous couchés; on trouve des troncs d'arbres verticaux.

On trouve des mammifères : les mastodontes, le castor; pas d'oiseaux, ni de poissons, mais des reptiles (crocodiles), un assez grand nombre d'insectes, de mollusques testacés, de crustacés et de coquilles marines. Dans certains bassins, il y a alternance de lits minces de lignites et de coquilles d'eau douce, mais, les terrains lignitifères n'ayant pas, en général, de limites supérieures nettes, ont pu, dans certains cas, être recouverts de terrains marins dont les roches et les coquilles se sont mêlées aux parties spongieuses et pénétrables des terrains de lignite.

Les lignites soissonnais paraissent être de formation d'eau douce, car c'est à leur partie inférieure ou moyenne que se présentent tous les débris de corps organisés dont l'origine terrestre ou fluviale n'est pas douteuse; à mesure qu'on s'élève dans le dépôt, les corps lacustres ou terrestres diminuent, tandis qu'aux limites supérieures de la formation, mais là seulement, apparaissent les corps marins.

On peut noter qu'on trouve à la *Belle-Étoile*, dans les montagnes de Loysans (Dauphiné), rive droite de la Romanche, entre les deux lacs du grand glacier du mont Lans, du lignite à 2145<sup>m</sup> d'altitude; actuellement la limite des bois dans ces montagnes est tout au plus à 1600<sup>m</sup> : l'explication la plus simple est l'abaissement de température qui ne permet plus aux végétaux de vivre aussi haut.

**Terrains basaltiques.** — En Allemagne, beaucoup de dépôts de lignite sont recouverts par le terrain basaltique et par toutes les roches de ce terrain d'apparence ancienne et cristalline.

Ainsi, au ravin des Egravats, au mont Dor, près de la grande cascade, une couche de lignite fibreux est complètement recouvert par des amas de roches trachytiques. Ainsi trouve-t-on le lignite sous le trachyte et le basalte et dans presque tous les terrains basaltiques, en Hesse, en Saxe, en Franconie, en Bohême, en Alsace, Vivarais, Auvergne, dans le nord de l'Italie, etc. Ces lignites sont donc antérieurs aux terrains basaltiques dont ils paraissent absolument indépendants.

**Lignite de l'île d'Aix.** — Le lignite de l'île d'Aix est une formation marine inférieure à la craie, ce qui le distingue du lignite soissonnais, non seulement par son origine, mais par sa position. Toutes les coquilles qu'on y trouve, particulièrement à la partie supérieure des dépôts, sont marines, les débris d'animaux sont surtout des mollusques et des zoophytes, un peu de reptiles et de poissons. On peut penser que des troncs d'arbres et d'autres végétaux terrestres ont été charriés, non dans des lacs ou marais comme dans le soissonnais, mais dans la mer où ils se sont mêlés aux espèces marines et ont été enveloppés avec elles dans un ciment argileux et siliceux qui les a réunis en altérant assez profondément leur nature.

**Terrains salifères.** — Il n'existe pas de formations de lignites au milieu même des formations crayeuses, mais, phénomène géognostique remarquable, on en trouve dans les masses de sel gemme de *Wicliezka* et de *Spiza*, tantôt à l'état de jayet, tantôt fibreux, tantôt bitumineux d'odeur nauséuse. Il y a aussi des lignites accompagnés de mellites dans les dépôts sableux qui recouvrent le terrain salifère.

**Lignites superficiels.** — On trouve aussi des dépôts puissants au-dessus de la formation du soissonnais et même dans les terrains de transport diluviens. Ces amas sont composés de lignites fibreux bruns, de bois à peine altérés et accumulés au milieu d'un terrain meuble, sablonneux et limoneux, accompagnés de coquilles d'eau douce, de débris d'insectes aquatiques et d'animaux terrestres semblables ou même pareils aux animaux qui vivent actuellement.

#### DISTRIBUTION DES LIGNITES EN FRANCE ET EN EUROPE.

**France.** — Un dépôt très étendu est celui qui recouvre la craie et qu'on trouve à Auteuil, Marly, Bagneux près de Mantes, à Dieppe, à Rollot près de Montdidier, près de Compiègne, d'Épernay, de Château-Thierry, de Laon et surtout aux environs de Soissons, d'où son nom de lignite *soissonnais*. Terne et friable, pénétré de pyrites, sauf celui du département de la Seine, il n'a été exploité que pour fournir des sulfates de fer et d'alumine ou des cendres destinées aux amendements agricoles.

Les dépôts du *midi* de la France, *plus puissants et moins pyriteux*, sont employés plutôt comme combustible que comme minerais d'alun ou de couperose.

Les gîtes les plus abondants, découverts depuis longtemps, sont ceux : des sables de la *forêt de Saon*, près de Crest (Drôme); de *Nyons*; de *Piolene* au sud-ouest d'Orange, en bancs horizontaux de 1<sup>m</sup>; des sables de Sisteron et de Forcalquier qui sont accompagnés de succin. Tous ces terrains s'appuient sur un calcaire compact fin qui n'est pas de la craie.

A *Saint-Paulet* (Gard) un gîte abondant est remarquable par sa résine succinique et par ses coquilles lacustres. Le lignite de *Lézenon* près Béziers, sous le calcaire grossier,

est accompagné d'argile et de coquilles d'eau douce, celui des *Landes* est dans le sable sous un toit d'argile.

Dans le Vivarais et le haut Valais, les dépôts sont sous les basaltes et produits volcaniques. Près *Rochessauve* (Ardèche) on trouve des lignites à empreintes végétales variées dans une marne sablonneuse à structure schistoïde.

Dans les *Bouches-du-Rhône*, on trouve de nombreuses mines de charbons bitumineux qui se rapprochent de la houille, on a compté 28 couches qui ne sont exploitées qu'en partie, elles sont stratifiées avec un calcaire marneux noirâtre ou brunâtre, quelquefois schistoïde, souvent bitumineux et fétide, le tout assez incliné mais non sinueux comme les lits de houille ancienne. Ces terrains se rapprochent de la formation du lignite soissonnais ou du terrain de sédiment supérieur.

Le même caractère d'inclinaison des couches contenant de grandes coquilles se retrouve à peu près à *Entreverne* (Savoie), à 1600<sup>m</sup> d'altitude où les lits de lignite se trouvent dans un calcaire gris bleuâtre marneux ou brun bitumineux veiné de calcaire spathique et renfermant des coquilles étrangères au calcaire compact et fin, turbinées bivalves, discoïdes écrasées ou planorbes; celles-ci dans les lits mêmes du charbon. Ce caractère, l'odeur du combustible font présumer qu'il s'agit de lignites d'eau douce de formation postérieure à la craie. Le gîte, noir, luisant, friable a parfois l'apparence de la meilleure houille; il brûle bien, mais se boursoufle et répand une odeur désagréable.

Nous donnons (p. 48) l'état détaillé des gisements français, dont nous venons de signaler surtout les particularités. Nous allons citer les gîtes les plus remarquables de l'étranger.

**Rhénanie.** — En remontant le Rhin, on trouve près de

Cologne, les masses immenses de lignite terreux de *Brühl* et de *Liblar* avec troncs de lignites fibreux d'arbres dicotylédones, monocotylédones, et des fruits d'un palmier cocotier, mais ni rameaux, ni racines, ni feuilles, ce qui semble indiquer que le gîte a été amené par des courants d'eau (1).

Au *Pitzberg*, près Bonn, sur un sol de transition se trouve un gîte remarquable : sept lits dans l'argile sableuse plastique avec cailloux roulés de jâpes schisteux. On trouve des fruits ressemblant à des cônes de pin ou de mélèze, de petits grains arrondis et pyriteux, des empreintes de feuilles.

Au-dessus de *Worms*, de puissants dépôts de lignite contiennent de nombreux débris de corps organisés.

Au mont *Bostberg*, au pied des Vosges, près Bouxwiller (Alsace), on exploite une puissante couche de lignite alumineux accompagné d'argile plastique bitumineuse placée sous un calcaire d'eau douce renfermant beaucoup de coquilles fossiles et quelques os d'animaux antédiluviens.

Le gîte de *Lobsann*, près Wissembourg, est accompagné de minerais de fer en grain et de bitume dans un terrain tertiaire à grès coquiller, le lignite est bacillaire noir et semble appartenir à la même formation que le soissonnais.

**Suisse.** — Les gisements se trouvent, soit au pied nord-ouest des Alpes, soit sur des points élevés dans les hautes vallées du Jura et des Alpes, soit encore dans la dépression qui se trouve entre les lacs de Genève et de Constance. Les gîtes de *Vernier* près Genève, de *Pauden* près Lausanne, de *Saint-Saphorni* près Vivay, de *Moudon* au nord de Lausanne, sont remarquables par la puissance et l'étendue des couches.

Le dépôt de *Kœpfnach* près d'Horgen, sur la rive occi-

---

(1) Nous consacrons d'ailleurs un Chapitre spécial à l'étude de ces gisements considérables.

dentale du lac de Zurich, a l'apparence de la houille. La couche est noire, brillante, puissante; le combustible est de bonne qualité. Ce dépôt renferme des coquilles et des débris de mammifères, mastodontes et castors.

Les lits peu puissants d'*Eningen*, près du lac de Constance, sont remarquables par la quantité de débris de végétaux, de mammifères, de reptiles, de poissons, de mollusques ou de crustacés d'*eau douce* qu'ils renferment.

**Hesse.** — On trouve deux gîtes remarquables sous le terrain basaltique.

Le lignite de l'*Habichtswald*, près Cassel, est en lits puissants, alternant avec l'argile plastique et le grès et renfermant beaucoup de feuilles d'arbres dicotylédones, mais aucune fougère.

Le gîte du mont *Meisner* est un des plus puissants que l'on connaisse; il se trouve sur un calcaire gris, bien antérieur à la craie, accompagné d'argile plastique non effervescente et infusible.

La masse basaltique accompagnée de dolérite, comprimant le lignite, en a volatilisé le bitume sans lui permettre de brûler; de cette distillation et de cette pression, il est résulté un anthracite compact dit bacillaire ou éclatant qui surmonte certaines parties du gîte. Celui-ci est semblable au soissonnais, mais ressemble davantage à la houille.

A *Frankenberg*, le gîte contient du minerai de cuivre exploitable et des végétaux épais comme dans le lignite d'Aix, mais non réunis en couche continue comme dans les lignites situés au-dessus de la craie.

**Thuringe.** — Au vallon d'*Unstruth*, près d'Asten, la couche de lignite terreux, terne massif et fibreux, de 5 à 12<sup>m</sup> de puissance, est posée sur un sable fin avec lits alternatifs de marne argileuse grisâtre, noirâtre et de sable grossier. Ce gisement est devenu célèbre par le mellite qu'on y a

découvert : corps fossile d'apparence organisée et à forme régulière et constante.

A *Klatennordheim* et à *Thann*, les dépôts de lignites renferment beaucoup de fruits.

**Autriche.** — Aux environs de Vienne, à *Pernitz*, on trouve des couches de lignite dont la partie supérieure renferme du succin et des coquilles univalves fluviatiles.

Dans la haute Autriche, à *Wolfseck*, interposée dans l'argile plastique, se trouve une couche assez épaisse de lignite terne massif mêlé de fibreux et de pisciforme.

Sur la route de Vienne à Presbourg, près Wandorf dans la Montagne de *Brunberg*, en bancs épais ondulés, séparés par un sable noir argileux, se trouve un dépôt de lignite de bonne qualité mais un peu pyriteux recouvert d'un terrain argileux jaunâtre ou grisâtre avec empreintes végétales : une partie de ce gîte s'est enflammée et a réduit les argiles en jaspe porcellanite.

On trouve encore du lignite dans le district de *Bonn*, et dans le voisinage de *Haagen*, de *Hampfelwangen*, de *Weilhardten* ainsi que dans la vallée de *Frankenbourg*, etc.

**Bohême.** — Dans le bassin houiller de *Falknov* on trouve un *boghead* qui se rapproche des houilles à cire de Saxe.

La plupart des terrains basaltiques de la Bohême recouvrent des dépôts lignitifères. Il en est de même d'ailleurs en Allemagne, où les gîtes sont trop nombreux pour que nous ayons pu citer tous ceux qui sont notables.

**Hongrie.** — La mine la plus remarquable, celle de *Sari-Sap* à 5 lieues de Bude, comprend trois couches, la plus profonde est la plus épaisse et repose sur du calcaire jurassique; les couches sont séparées par des lits de marne argileuse. Le lignite est schistoïde et de qualité comparable à celui de Provence et de Savoie.

On trouve, en outre, un assez grand nombre de dépôts de lignites dont la plupart ont été pris d'abord pour de la houille, sur les montagnes de *Dregely*, de *Matro*, ainsi qu'à *Cserhat* et *Banth*. On y trouve des minerais ferrugineux et du bitume liquide imprégnant le psammite molle.

**Italie.** — Au pied des Apennins, les couches de lignite ne sont pas en général assez puissantes pour une exploitation intensive. Les gîtes de *Caniparola*, près du golfe de la Spezzia, plus intéressants sont encaissés dans une marne argileuse dure et se rapprochent des lignites marins de l'île d'Aix.

A *San-Lazaro*, près Castelnuovo, on trouve du lignite pisciforme en couche horizontale dans une argile sableuse grise, mêlée de galets quartzeux granitiques, ainsi que des lignites fibreux et du jayet. Sur la même côte, il y a un gîte remarquable par ses fossiles mastodontes et anthracotherium.

L'Italie présente des dépôts de lignites dans une position géologique très différente et qui les rapproche des dépôts sous-basaltiques de l'Allemagne. Ces gîtes se trouvent particulièrement dans le Vicentin et le Véronais.

**Serbie.** — A *Lubijana*, à l'est de Laybach, on trouve dans le Crétacé un lignite qu'on a pris pour de la houille. Le lignite de la mine de *Siverik*, au nord-est de Sibenik, paraît convenir à une installation de carbonisation.

En Bosnie, un gisement alimenta pendant la guerre le haut fourneau de Vares qui traitait les minerais de Liubija-Préjedor.

On trouve des lignites anciens à *Kouchai* (4 mines); parmi ceux qui sont le plus propres à la carbonisation, signalons la région de Knajevacz avec les mines de *Bolievatz*, *Vina-Podvis* et *Tressibaba* dont les couches sont de 7 à 8<sup>m</sup> avec 20 pour 100 au plus de soufre.

Dans la région d'Uskub, dans la concession de *Sibozatz*, plusieurs affleurements d'une puissance de plus de 20<sup>m</sup> sous une très faible épaisseur de morts-terrains, contiennent un lignite de formation assez récente pouvant donner beaucoup de paraffine.

**Grèce.** — On trouve, aussi, en Grèce, et en Bulgarie beaucoup de gisements lignitifères.

**Pays scandinaves.** — Le pays danois et suédois, l'île de Bomholm et l'Islande, renferment des dépôts abondants composés généralement de troncs comprimés dont la structure ligneuse est très distincte; ils sont souvent accompagnés de jayet.

Au Groenland, il existe de nombreuses couches recouvertes de trapp.

**Angleterre.** — Le dépôt de l'île de *Sheppey*, à l'embouchure de la Tamise, contient des fruits bien conservés et une quantité considérable de crabes marins pétrifiés.

Le terrain de la ville de *Londres* renferme des débris de lignites et de réserves succinitiques. L'île de *Wight* renferme plusieurs lits de lignite terreux mêlés de végétaux. A *Newhaven*, il est accompagné de fruits de la famille des palmiers. On retrouve à peu près le même lignite près de *Poole-Harbour* (Dorsetshire).

A *Bovey* (Devonshire), il y a un dépôt puissant de 2 à 3<sup>m</sup>, composé surtout d'arbres aplatis brun foncé, assez bon combustible, placé sur de l'argile et recouvert par du sable.

#### LISTE DES EXPLOITATIONS FRANÇAISES EN 1860.

Voici la liste des mines de lignite exploitées en France en 1860 :

**Aisne.** — A *Bourg*, deux gîtes de 1<sup>m</sup>,35 de puissance totale sont exploités à ciel ouvert.

**Oise.** — A *Muisancourt*, le gîte est utilisé, partie comme combustible, partie comme minerai d'alun et de vitriol.

**Bas-Rhin.** — Le gîte de *Bouxviller* de 1<sup>m</sup>,50 est utilisé de même; dans la concession de *Lobsann*, la puissance n'est que de 0<sup>m</sup>,60.

**Isère.** — Aux environs de *La Tour-du-Pin*, deux gîtes superficiels ayant ensemble 1<sup>m</sup>,60 de puissance, et près de *Vareppe*, les gîtes de *Porniers*, de 2<sup>m</sup> de puissance moyenne, sont utilisés comme combustibles.

**Basses-Alpes.** — Douze concessions, la plupart groupées autour de *Manosque*, embrassent une surface de 3161<sup>ha</sup> et ont une épaisseur totale de 1 à 8<sup>m</sup>. Le lignite extrait se classe en trois variétés : la meilleure, propre aux forges, vient principalement de *Volx* et de *Dauphin*; la qualité moyenne s'emploie au chauffage domestique; la dernière, plus cendreuse, ne sert qu'à la préparation de la chaux.

**Var.** — Six mines : *Saint-Zacharie*, *Peirui* et *Taurelle*, *Plan-d'Aups* (arrondissement de Brignoles), *La Cadière* (deux concessions) (arrondissement de Toulon) et *Vescagne* (arrondissement de Grasse) se trouvent dans le même terrain tertiaire qui renferme celles des Bouches-du-Rhône. Les gîtes sont faibles et irréguliers, leurs produits sont employés dans les fabriques de soude, les distilleries, les fours à plâtre.

**Bouches-du-Rhône.** — Dix-sept mines : *Condoux*, *La Fare*, *Les Martigues*, *La Gacherelle*, *Gardanne*, *Mimet* et *Tretz* (arrondissement d'Aix), *Greasque*, *Belcodène*, *La*

*Grande-Concession* (arrondissements d'Aix et Marseille), *Peipin*, *Saint-Savourin* (nord et sud), *Bouilladisse*, *Auriol*, *Vède*, *Bassan*, *Liquette* et *Carbalan* (arrondissement de Marseille), embrassent une surface totale de 27 786<sup>ha</sup>, dans un terrain appartenant à la partie inférieure de la formation tertiaire de Provence. Ce terrain est caractérisé par l'odeur bitumineuse, par la contexture schisteuse du calcaire et par l'absence de fossiles marins.

Huit couches exploitables de 5<sup>m</sup>,70 d'épaisseur réduite ont été reconnues, certaines n'ayant que 0<sup>m</sup>,40 de puissance.

Les produits alimentent les fabriques de soude, de savon, les raffineries de sucre, les fours à chaux et les fours à plâtre.

**Vaucluse.** — Quatre mines : *Montdragon* et *Piolen* (arrondissement d'Orange), *Bedoin* et *Méthamis* (arrondissement de Carpentras) occupent 7839<sup>ha</sup>. L'épaisseur des gîtes reconnus varie de 3<sup>m</sup>,70 à 1<sup>m</sup>. Le lignite est employé au chauffage des chambres des vers à soie, à la cuisson de la chaux et à celle du plâtre.

**Ardèche.** — Au *Banc-Rouge* (arrondissement de Privas), 1106<sup>ha</sup> ne contiennent qu'une seule couche de 0<sup>m</sup>,60 de puissance qui sert au chauffage des chambres des vers à soie et au chauffage domestique.

**Gard.** — Les lignites du Gard (12 677<sup>ha</sup>) appartiennent aussi à la formation calcaire tertiaire de la Provence.

A *Saint-Julien-de-Peyrolas* et à *Vénéjean*, la somme de leurs puissances réduites est de 4<sup>m</sup>.

A *Aigaliers*, à *Serviers* et à *Montaren*, elle est de 3<sup>m</sup>.

Dans les autres concessions : *Figon*, *Victor-la-Coste*, *Cavillargues*, *Le Pin*, *La Veyre*, *Gaujac*, *Connaux*, *Arejean* et *Barjac*, elle n'est que de 1<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>.

Le lignite est employé au chauffage domestique, dans les magnaneries et dans les filatures de soie; le menu, à la fabrication de la chaux.

**Hérault.** — Les gîtes sont intercalés entre des couches peu inclinées de calcaire et de grès et forment une bande qui s'étend de l'E-N-E à l'W-N-W sur une grande partie du département (13 793<sup>ha</sup>), mais reste très mince.

A *La Caunette* (R, G.), il y en a deux qui n'ont ensemble que 0<sup>m</sup>,70; ailleurs ils sont encore moins puissants.

Le lignite en gros morceaux brûle sur grille dans les distilleries, le menu sert à la préparation de la chaux.

**Aude.** — Trois mines, *Bize*, *Mailhac* et *Bouzols* de 4750<sup>ha</sup> au sud-ouest de Narbonne, ne comprennent que des gîtes de 0<sup>m</sup>,15. Mailhac en possède quatre.

**Landes.** — La concession de *Saint-Lon* (361<sup>ha</sup>) comprend des gîtes de 2<sup>m</sup> d'épaisseur réduite.

**Charente-Inférieure.** — Deux gîtes ont été découverts au *Grand-Lury* et à *Clarac* (arrondissement de Jonsac), le premier est une masse irrégulière dont la puissance en certains points est de 20<sup>m</sup>; l'autre a une épaisseur de 3<sup>m</sup>. Le combustible n'est employé que comme engrais.

---

## CHAPITRE IV.

### LES GISEMENTS FRANÇAIS RECONNUS EN 1924.

---

**SOMMAIRE.** — Objet de cette étude. — Bassins : de Fuveau; du Comtat (Bagnols, Tiévezet, Piolenc, Uzès, Vénéjean, Alais, Méthamis); de Manosque; des Alpes; d'Estavar; de l'Aude et de l'Hérault; du Larzac, du Sôlardais, de Lалуque et de Saint-Lon. Réserves de lignites en France. — Remarque au sujet de la composition des lignites.

**Objet de cette étude.** — Le présent Chapitre a pour but de décrire sommairement les principaux gisements reconnus actuellement, qu'on pourra d'ailleurs comparer avec les exploitations de 1860 qui ont été énumérées au Chapitre précédent. On y verra que les progrès ne sont pas considérables, mais si l'on observe que, jusqu'à présent, les lignites, étant peu recherchés, il reste beaucoup à prospector, on peut espérer que les travaux de recherches, actuellement en cours et qui prendront de l'extension dès que s'affirmeront les premiers résultats heureux des entreprises de carbonisation, augmenteront le chiffre des réserves sur lesquelles on peut compter.

**Bassin de Fuveau** (Bouches-du-Rhône et Var). — Ce bassin est le plus important par son étendue et par sa production qui atteint, en 1917, 960 000 tonnes environ. Il forme une bande elliptique de 75<sup>km</sup> de long et de 15 à 20<sup>km</sup> de large, limitée au Nord, au Sud et à l'Est par des

soulèvements montagneux; il se prolonge à l'Ouest sous l'étang de Berre dans une zone qui n'a pas été reconnue.

Les couches diminuent d'épaisseur d'une manière générale, du Sud-Ouest au Nord-Est; la formation est d'une grande régularité, elle plonge vers le Nord-Ouest avec un pendage de  $10^{\circ}$ ; elle reparait au Nord-Ouest du bassin dans les concessions de la Fare et Coudoux, avec un pendage de  $30^{\circ}$  environ vers le Sud. Un seul accident est à signaler dans la partie méridionale : le lambeau charrié de gardanne limité par des failles, sauf à l'Ouest et qui a recouvert la formation régulière.

Cette formation appartient au *Néo-Crétacé*, les couches exploitables sont dans le *funélien* ou *maestrichien inférieur*; leurs puissances sont :

$3^{\text{m}},10$  à  $0^{\text{m}},80$  de charbon à la base (grande mine);

$1^{\text{m}},10$  à  $0^{\text{m}},50$  de charbon (couche 4 pans);

$0^{\text{m}},75$  à  $0^{\text{m}},20$  de charbon (couche gros Rocher).

Un grand nombre de concessions ont été instituées dans les Bouches-du-Rhône et quelques concessions isolées, dans le Var. L'exploitation se fait par puits et galeries; la profondeur des puits, qui dépend de la cote du sol, excède rarement  $200$  à  $250^{\text{m}}$ .

L'aspect du combustible est voisin de la houille, son pouvoir calorifique est de  $4500$  à  $6800^{\text{cal}}$ ; il contient  $30$  à  $39$  pour  $100$  de matières volatiles,  $34$  à  $43$  pour  $100$  de carbone,  $6$  à  $20$  pour  $100$  de cendres et jusqu'à  $3$  pour  $100$  de soufre.

**Bassins du Comtat.** — On groupe sous ce nom divers bassins du Gard, de l'Ardèche et du Vaucluse appartenant à des formations secondaires ou tertiaires.

$1^{\circ}$  Le *Bassin de Bagnols* est à l'étage *super-crétacé* dit du grès vert (Turonien, Cénomancien, Gault et Aptien); sa

production a atteint 54 700 tonnes en 1920, dans les différents groupes suivants :

a. *Groupe de la Tave.* — Le faisceau, de quatre à cinq couches de 0<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>,50 de puissance, présente la forme générale d'un fond de bateau interrompu par les flancs de la vallée de la Tave sur lesquels sont des affleurements; les couches se correspondent ainsi de la concession de Cavillargues à celle du Pin, séparées par la vallée; elles se raccordent également dans les concessions de Connaux et de Gaujar. Une autre concession importante est celle de la Veyre.

Le lignite contient 15 à 20 pour 100 d'eau, 17 à 30 pour 100 de cendres, 3 à 4 pour 100 de soufre et 20 à 35 pour 100 de matières volatiles; il est exploité par travers-bancs et par puits de 30 à 40<sup>m</sup>.

b. *Groupe de la Cèze.* — Dans le prolongement des affleurements précédents, vers l'Ouest jusqu'à la concession de Saint-Marcel-de-Careiret, puis à partir de ce point vers le Nord (concessions de Saint-André, d'Olerargues et Goudargues), on a trouvé deux à trois couches de 0<sup>m</sup>,80 que l'on se propose actuellement d'exploiter.

c. *Concession de Saint-Julien-de-Peyrolas.* — Cette concession, actuellement la plus importante du bassin, comprend deux couches de 1<sup>m</sup> et 2<sup>m</sup> exploitées par puits de 30<sup>m</sup> à 40<sup>m</sup>; le combustible extrait contient 20 à 30 pour 100 d'eau, 20 à 30 pour 100 de matières volatiles, 8 à 17 pour 100 de cendres et 5 pour 100 de soufre.

2° Le *Bassin de Trévezel* est à l'étage *medio-jurassique* Cathonien; il donne des combustibles à 40 pour 100 de matières volatiles et 8 à 10 pour 100 de cendres, mais, situé dans la montagne à 30 ou 40<sup>km</sup> du rail, on exploite seulement à Lannéjols et Servillières, deux couches de faible épaisseur, et à Gardies et Trévezel, une couche de 1<sup>m</sup>.

3° Le Bassin de Piolenc (*Sénoncien*) renferme la concession de Piolenc qui exploite, par galeries, deux couches d'une puissance utile cumulée de 1<sup>m</sup>,30 et la concession de Mondragon, inexploitée.

4° Le Bassin d'Uzès (*Éocène*) comprend les concessions de Montareu, Serviers et Sigaliens; il comporte deux à trois couches de 0<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>,60 exploitées entre 20 et 40<sup>m</sup> de profondeur.

5° Le Bassin de Vénéjean (*Éocène*) appartient aussi à l'étage uzégien, on connaît dans la concession de Vénéjean, deux couches de 1<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup> d'épaisseur dont la première seule a été exploitée.

6° Le Bassin d'Alais est à l'étage infratongrien à la base de l'*Oligocène*; il comprend les concessions de Barjac, d'Avéjean et de Célas.

Une couche de 4<sup>m</sup> à 4<sup>m</sup>,50 de puissance, dans la concession d'Avéjean, se divise, dans la concession de Barjac, en deux couches de 1<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup>; dans cette concession, les travaux commencés sur les affleurements se sont développés vers le Sud et vers l'Ouest où ils se trouvent actuellement à la profondeur de 100<sup>m</sup>, les travaux de reconnaissance vers l'Ouest sont arrêtés à 120<sup>m</sup> de profondeur par une faille N-S. A Avéjean, les travaux sont entre 50 et 70<sup>m</sup> de profondeur. A Célas, on exploite trois couches de 0<sup>m</sup>,80, 1<sup>m</sup> et 1<sup>m</sup>,80 dont les affleurements sont à l'Ouest et qui plongent vers l'Est où elles sont limitées à 200<sup>m</sup> des affleurements par un accident; au Nord et au Sud, elles se relèvent, formant ainsi une cuvette de 200<sup>m</sup> sur 400<sup>m</sup> environ.

La production du bassin d'Alais a atteint 52 400 tonnes en 1918; le lignite contient 10 à 20 pour 100 d'eau, 30 à 35 pour 100 de matières volatiles, 13 à 20 pour 100 de cendres et 5 à 7 pour 100 de soufre.

7° Le Bassin de Méthamis. — Malgré sa faible étendue,

ce bassin, qui appartient à l'Oligocène inférieur, produit un tonnage relativement important, 33 445 tonnes en 1918; il est situé dans l'Oligocène inférieur. Le gisement est en forme de cuvette allongée de 800<sup>m</sup> de corde et d'une profondeur de 120<sup>m</sup> au maximum. L'exploitation se fait par galeries; la profondeur des travaux atteint 80<sup>m</sup> au-dessous du sol.

Le lignite, noir, terne et friable, contient 17 à 22 pour 100 d'eau, 30 à 37 pour 100 de matières volatiles, 14 à 30 pour 100 de cendres et 3 à 6 pour 100 de soufre.

**Bassin de Manosque.** — Ce bassin s'étend sur 25<sup>km</sup> du Nord au Sud et sur 10<sup>km</sup> environ de l'Est à l'Ouest, entre les derniers contreforts de la montagne de Lure au Nord et la Durance au Sud-Est (Basses-Alpes). L'ossature est un synclinal S-O, N-E passant par Forcalquier, dont le versant sud se plisse suivant un anticlinal de direction parallèle.

Les concessions sont réparties en trois zones : 1<sup>o</sup> sur le versant nord du synclinal à 5<sup>km</sup> de Forcalquier; 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> à 10<sup>km</sup> au sud de cette ville, deux bandes situées de part et d'autre de l'axe de l'anticlinal.

La formation qui appartient à l'Aquitainien inférieur ou Chattien (Oligocène supérieur) comprend trois étages.

1<sup>o</sup> L'étage inférieur est formé de cinq à six couches de 0<sup>m</sup>,70 à 1<sup>m</sup> exploitées dans les zones du Sud (charbon gras);

2<sup>o</sup> L'étage moyen exploité dans les mêmes zones comprend un grand nombre de couches de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,60 (charbon maigre);

3<sup>o</sup> L'étage supérieur est exploité dans les mêmes zones, les bandes des deux flancs de l'anticlinal sont redressées ou même renversées parfois, mais à mesure que l'on s'éloigne de l'axe du soulèvement, le pendage diminue et n'est plus que de 12<sup>o</sup> dans les concessions les plus au Sud.

Cet étage est le seul reconnu à l'extrémité nord où la couche de Sigonce paraît exploitable sur 2<sup>km</sup>,5 en direction; le pendage général des couches nord est de 15° vers le Sud.

Les couches sont de 0<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup> de charbons maigres ou un peu gras.

Les exploitations sont : Sigonce au Nord; Dauphin, Gypièrre, Villemus au centre; Gaude et Ratefarnoux au Sud.

La concession du Dauphin, l'une des plus intéressantes, exploite un très grand nombre de couches réparties en trois faisceaux : le Collet Rouge, qui a 3<sup>m</sup>,70 en trois couches; le Queyrac, qui contient dix-huit couches de 0<sup>m</sup>,40 à 0<sup>m</sup>,80; le Bois d'Asson, qui a 4<sup>m</sup> de charbon en deux couches.

La Compagnie d'Alais et Camargue perce un grand travers-banc qu'elle a ouvert près de la gare de Manosque et qu'elle dirige vers Ratefarnoux.

Les lignites maigres contiennent 7 à 20 pour 100 d'eau, 22 à 35 pour 100 de matières volatiles, 30 à 40 pour 100 de cendres, 3 à 6 pour 100 de soufre. Les lignites gras, 3 à 10 pour 100 d'eau, 33 à 45 pour 100 de matières volatiles, 15 à 30 pour 100 de cendres et la même quantité de soufre.

La production totale du bassin a atteint 74 891 tonnes en 1918.

**Bassins des Alpes.** — Un grand nombre de gisements tertiaires ou quaternaires se trouvent dans l'Isère, la Savoie et la Haute-Savoie, les couches sont peu puissantes et d'un accès difficile en montagne, mais le lignite y est généralement de bonne qualité.

La seule concession un peu active est celle de la Creuse, au sud du lac du Bourget (Société de Voglans), qui fournit un bois fossile très ligneux contenant 22 pour 100 d'eau, 47 pour 100 de matières volatiles, 13 pour 100 de carbone, 18 pour 100 de cendres.

L'exploitation totale des bassins des Alpes a atteint 22 990 tonnes en 1920.

Le gisement de La Tour-du-Pin (Isère) dans le Miocène supérieur contient une seule couche inexploitée de 0<sup>m</sup>,45 à 0<sup>m</sup>,70 à une profondeur de 5 à 25<sup>m</sup>, d'un bois fossile quaternaire.

Le gisement du lac d'Annecy (Haute-Savoie) appartient aussi au Miocène et renferme une seule couche de 0<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup>,50 avec pendage à 60 ou 70°. Les concessions d'Intre-vernens sont exploitées par puits et galeries; le combustible est compact.

Le gisement de Chambéry (Savoie) comprend une couche horizontale qui, dans la concession de la Creuse, atteint 2 à 4<sup>m</sup> et qui affleure les flancs de la vallée de la Leysse, l'exploitation se fait par galeries avec remblais ou par chambres et piliers.

**Bassin d'Estavar** (Pyrénées-Orientales). — Ce bassin dont la production a atteint 4925 tonnes en 1917 renferme, dans une cuvette de schistes anciens, dix couches de lignite de formation tertiaire et d'une puissance cumulée de 7<sup>m</sup>, contenant 35 pour 100 de matières volatiles, 20 pour 100 d'eau et 24 à 28 pour 100 de cendres.

**Bassin de l'Aude et de l'Hérault.** — Ce bassin éocène (calcaires, grès et marnes) contient trois horizons lignitifères, mais n'est guère connu que par des affleurements, dont les plus importants, dans la région Saint-Chinian-La Caunette, font apparaître des couches variables en nombre, puissance (0<sup>m</sup>,50 à 4<sup>m</sup>), pendage et composition (eau, 2 à 10 pour 100; matières volatiles, 25 à 40 pour 100; cendres, 22 à 45 pour 100; soufre, 5 à 10 pour 100) (1).

**Bassin du Larzac** (Aveyron). — Ce bassin se rattache

---

(1) Voir, au sujet du bassin de la Cesse, la communication de M. De Pritzbuër au Congrès des combustibles liquides en 1922 (*Chimie et Industrie*, mai 1923, p. 454-458).

à la base du Bathonien et se développe dans la région du Causse de Larzac; il comprend un assez grand nombre de concessions : Saint-Georges de Luzençon, Mas-Nau, La Cavalerie, Les Lisquisses, les Moulinets, Balmaresse, etc., exploitées par galeries et par puits.

L'exploitation a été de 21 600 tonnes en 1918; le lignite est, en réalité, une houille stipite à 2 ou 7 pour 100 d'eau, 30 à 40 pour 100 de matières volatiles, 16 à 45 pour 100 de carbone fixe, 20 à 30 pour 100 de cendres et 1 à 6 pour 100 de soufre.

**Bassin du Sarladais** (Dordogne). — Ce bassin s'est formé, entre la fin du Jurassique et le régime marin du Crétacé supérieur; les vallonnements du calcaire jurassique ont été comblés par des argiles grises à couches pyriteuses de lignite et de schistes. Les couches de lignite ont de 0<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup>,50 de puissance, quelques-unes très régulières.

Le combustible contient 21 à 27 pour 100 d'eau, 30 à 48 pour 100 de matières volatiles, 7 à 15 pour 100 de cendres, 3 pour 100 de soufre.

La production totale du bassin a atteint 10 550 tonnes en 1920.

Les concessions sont : Cladech, Yeyrines, La Chapelle-Péchaud et Lasserre.

**Bassin de Lалуque** (Landes). — Aux environs de Lалуque se trouve, sous des sables quaternaires, un terrain *pliocène* dont les vallonnements renferment des dépôts lignitifères importants. La prospection complète des concessions de Lалуque et de Larquier a fait reconnaître, sous une épaisseur de morts-terrains qui n'excède pas 12<sup>m</sup> en général, une couche de 1<sup>m</sup> à 7<sup>m</sup> d'épaisseur d'un combustible brun, terreux, très chargé d'humidité (55 pour 100), mais très riche en matières volatiles et très peu cendreux (5 pour 100), ce qui le rend très propre à la carbonisation. Une usine

capable de traiter 120 tonnes de lignite sec par jour est en voie d'achèvement.

Les dépôts lignitifères débordent les limites des concessions.

Le même lignite a été découvert à Rion-des-Landes et à Arjuzanx; on peut penser qu'on se trouve en présence de gisements très importants et faciles à exploiter en découvert.

**Bassin de Saint-Lon** (Landes). — Au sud de l'Adour s'étend dans l'*Éocène*, un bassin très différent qui comprend deux couches de 1<sup>m</sup> et de 2<sup>m</sup> de puissance, coupées par des failles avec faibles rejets. L'exploitation est souterraine par puits et travers-bancs.

Le combustible est moins humide (20 pour 100), mais plus cendreux (10 pour 100); il est lamelleux, luisant et noir.

La production totale des deux bassins des Landes a atteint 37 301 tonnes en 1918.

**Réserves de lignites en France.** — Si l'on calcule, dans chaque concession, les réserves probables en tenant compte des résultats mis en évidence par les travaux d'exploitation et de recherches, on trouve pour l'ensemble des bassins français un total d'environ 1 milliard de tonnes.

En faisant des hypothèses sur la continuité des gisements à l'extérieur des concessions, on arrive à 2 milliards de tonnes.

Il faut remarquer que, dans la plupart des exploitations, les travaux sont limités au voisinage des affleurements. Cela s'explique par les difficultés d'écoulement d'un combustible cru, cendreux, humide ou sulfureux, dont le prix de revient n'est pas assez avantageux pour compenser ses infériorités.

Dans beaucoup de cas, la carbonisation fournirait des goudrons susceptibles de donner par distillation des pro-

duits d'une assez grande valeur marchande, en laissant un semi-coke, plus facile à vendre que le combustible cru, si celui-ci n'est pas trop cendreux, ou pouvant être gazéifié.

Lorsque les premières installations (Laluque ou La Caudette auront donné des preuves indiscutables de l'intérêt qu'elles présentent, les usines de carbonisation et de distillation se multipliant, accéléreront les recherches et l'on peut penser que le chiffre des réserves françaises, tel qu'il est officiellement calculé, sera très largement dépassé dans la réalité.

**Remarque au sujet de la composition des lignites.** —

Les chiffres précités, sur la composition des lignites des différents bassins français, ne peuvent que donner une idée de la valeur des combustibles, en renseignant particulièrement sur l'humidité, les cendres et le soufre qu'ils contiennent. La teneur en matières volatiles dépend, au contraire beaucoup, des conditions de l'essai.

Si l'on a en vue la carbonisation, il faut regarder d'abord la proportion de goudron. Cette proportion dépend essentiellement elle-même du procédé utilisé et particulièrement de la température.

Le tableau suivant illustre cette influence, les teneurs sont relatives au même lignite, carbonisé à 500° et à 1000° :

Produits obtenus.	A 500°.	A 1000°.
Sulfate d'ammoniaque.....	1 <sup>kg</sup> ,974	5 <sup>kg</sup> ,264
Goudron.....	26 <sup>kg</sup> ,070	63 <sup>kg</sup> ,020
Benzol brut.....	6 <sup>kg</sup> ,660	10 <sup>kg</sup> ,620
Gaz (mesuré à 0° et 760 <sup>mm</sup> )	113 <sup>m</sup> <sup>3</sup>	319 <sup>m</sup> <sup>3</sup>

Il paraît donc intéressant de pousser la température, mais en prenant de grandes précautions pour ne pas abîmer les produits, comme nous le verrons au Chapitre de la carbonisation.

La haute température est évidemment favorable à la

production des gaz, qui contiennent deux fois plus d'hydrogène et deux fois moins d'anhydride carbonique, mais elle peut nuire à la qualité des goudrons.

La distillation de ces derliers donne aussi des résultats différents suivant le mode opératoire.

C'est ainsi que l'on a pu obtenir, avec le même lignite, dans un cas :

3,15 pour 100 de paraffine et 30,17 pour 100 de poix

et dans un autre cas :

23,48 pour 100 de paraffine et pas de p. ix,

les teneurs en huiles étant à peu près équivalentes.

Les chiffres que nous venons de donner se rapportent à un lignite très particulier; nous les citons simplement pour montrer l'importance du traitement, non seulement du traitement industriel définitif en grande masse, mais aussi des procédés de laboratoire utilisés pour l'analyse.

Il est donc d'une prudence élémentaire de ne pas se contenter d'analyses, mais de soumettre, avant toute exploitation, une masse suffisante, 10 à 20 tonnes par exemple, aux traitements que l'on se propose d'appliquer; ce qui permettra, non seulement de constater les rendements des opérations, mais de calculer les frais des installations, les prix de revient de la carbonisation des lignites et de la distillation des goudrons et, dans une certaine mesure, d'estimer la valeur marchande des sous-produits et les conditions d'utilisation *des résidus* solides et des gaz.

L'auto-agglomération du lignite brut sous des pressions de l'ordre de 1800 kg : cm<sup>2</sup>, telle qu'elle est pratiquée en Rhénanie, ne paraît pas s'appliquer facilement à la plupart des gisements français, nous lui consacrons cependant un Chapitre à cause de l'importance économique qu'elle a permis de donner au bassin de Cologne.

---

## CHAPITRE V.

### LES LIGNITES ALLEMANDS ET LE BASSIN DE COLOGNE.

---

SOMMAIRE. — Caractères généraux et classification : sapropélite, humusgestein autochtones ou allochtones, liptobiolithes, schwelkohle, fuerkohle. — Composition chimique : soufre, cendres, bitume, acides humiques, constituants insolubles. — Propriétés physiques. — Combustion spontanée. — Pouvoir calorifique. — Formation des lignites allemands. — Gisement pliocène du bassin de Cologne. — Gisement miocène du bassin de Cologne. — Estimation des réserves du Vorgebirge. — Mines de Liblar.

**Caractères généraux. Classification.** — Les lignites allemands, particulièrement les gisements rhénans (rive gauche du Rhin, à l'ouest de Cologne), sont d'une grande importance économique. En 1913, on a extrait du bassin de Cologne 21 millions de tonnes vendus pour 80 millions de marks; en 1921-1922, l'extraction du lignite cru a été de 34,8 millions de tonnes; aussi croyons-nous intéressant de donner quelques indications sur ce gisement en nous référant aux études remarquables publiées par M. Frézouls dans la *Revue de l'Industrie Minérale* à partir du 15 novembre 1923.

Les *Braunkohlen* allemands sont très différents des lignites français et du lignit allemand lui-même, incapable de s'agglomérer sans brâi.

Le *Braunkohle* présente l'aspect de l'humus; il contient 50 à 60 pour 100 d'eau et son pouvoir calorifique est faible (1800 à 2000 calories). Les Allemands en distinguent trois catégories :

1° La *sapropélite*, plantes aquatiques fossiles, algues riches en corps gras contenant encore des corps oxydables qui les rendent combustibles, comprend : le *Blätterkohle*, argile imprégnée qui sèche en se divisant en feuilles; le *kieselkohle*, sable imprégné; les *ælschiefer* ou schistes bitumineux; le *Schieferkohle*, lignite schisteux; le *Stinkkohle*, lignite puant; les *Alaunkohle*, exploités quelquefois pour l'alun qu'ils contiennent. Quand la sapropélite trop pauvre, est inutilisable comme combustible, on l'appelle *acaustobiolithe*.

2° Les *humusgestein*, roches d'humus provenant de la décomposition de plantes terrestres en présence d'une quantité d'oxygène insuffisante, constituent la presque totalité des gisements, les autres terrains n'étant qu'en couches très minces ou en amas.

Les géologues divisent les *humusgestein* en : lignites *autochtones* formés de végétaux fossiles non transportés, lignites de *première allochtonie* qui ont subi un transport avant d'être fossilisés et de *deuxième allochtonie* qui ont été transportés déjà fossiles.

Les mineurs désignent les différentes variétés par des noms qui diffèrent d'un bassin à un autre.

Dans le bassin rhénan, le *Knabbenkohle* est un lignite consistant en couche épaisse qui se débite en gros morceaux, le *Rieselkohle* est un lignite qui tombe en poussière et qui a été transporté ou tout au moins ébranlé par des mouvements locaux. Dans le reste de l'Allemagne, ces lignites sont désignés respectivement sous les noms de *Knorpelkohle* et de *Klarkohle*.

Les roches d'humus tertiaires sont formées d'arbres résineux de plantes analogues aux roseaux dont les rhizomes se trouvent généralement à la base des couches autochtones, cas le plus fréquent. Dans les lignites de première allochtonie, les troncs sont pêle-mêle, inclinés ou racines en haut; les lignites de deuxième allochtonie, qu'on rencontre plus

souvent que les précédents, comprennent des cailloux roulés pendant le transport.

3° Les *liptobioolithes*, cires et résines (exemple : l'ambre) non décomposées, dont la variété la plus ordinaire est le *pyropissit*, couches minces jaune clair ou gris clair plus bitumineuses que le reste du gisement, où elles sont intercalées; on devra donc exploiter le front de taille sur toute sa hauteur à la fois, afin de conserver les mêmes qualités agglomérantes au lignite extrait chaque jour.

En réalité, le lignite brut contient les trois genres précédents à différents degrés de transition; les 1° et 3° contiennent des goudrons et des dérivés qu'il peut être intéressant d'extraire. Dans certains gisements, on constate un enrichissement en résine sur toute l'épaisseur de la couche, d'où richesse en paraffine. On distingue le *Schwelkohle* (lignite de distillation) du *Fuerkohle* (lignite de combustion) utilisable seulement comme combustible.

Les lignites de deuxième allochtonie sont généralement plus bitumineux que les autres, car les parties les moins bitumineuses ont dû se décomposer pendant leur transport sous l'action de l'air et des eaux de ruissellement, action qui explique aussi pourquoi le *Schmierkohle*, au toit de la couche, est plus bitumineux que le reste.

**Composition chimique.** — Si l'on dissout le lignite dans l'acide azotique ou le chlorate de potasse, il reste l'édifice cellulaire, que l'on peut étudier au microscope, et différents minéraux.

Les lignites allemands contiennent de 50 à 60 pour 100 d'eau (60 pour 100 en Rhénanie, 48, 52, 55, 58 pour 100 respectivement dans les bassins de Magdebourg, de Halle, de Henselwitz et de Senftenberg). Après dessiccation, les lignites exposés à l'air reprennent 10 à 15 pour 100 d'eau. Le lignite pulvérisé, chauffé à l'air, absorbe l'oxygène, les essais d'humidité doivent être effectués dans une atmosphère de gaz carbonique.

La composition élémentaire varie beaucoup d'un gisement à l'autre. Voici l'analyse d'un lignite de Cologne, brut :

Eau.....	58,14		
Cendres.....	2,60		
Métalloïdes	{ C..... 26,77 H..... 2,02 S..... 0,10 N..... 0,36 O..... 10,01	} 39,26	
		100,00	

Voici des résultats de distillation de lignites séchés :

	Lignite séché de Beisselsgrube.	Briquette « Union ».
Eau.....	16,4	14,98
Coke.....	39,48	41,73
Matières organiques volatiles.	44,12	43,29

Les cendres contenues dans le coke représentaient 5 à 5,78 pour 100 du combustible; le soufre 0,48 pour 100 et les goudrons 5,2 pour 100 des matières volatiles.

Voici, enfin, des analyses élémentaires de briquettes :

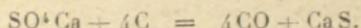
Éléments	Mine Fortuna.	Mine Sibylla.
Eau.....	14,7	17,54
C.....	54,54	52,1
H.....	3,93	3,86
S.....	0,49	0,31
N.....	0,42	0,70
O.....	21,09	20,37
Cendres.....	4,83	5,11
Pouvoir calorifique.....	4835 <sup>cal</sup>	4505 <sup>cal</sup>

Les lignites éocènes et oligocènes plus anciens sont les plus riches en carbone. Les lignites bitumineux sont riches en H et la teneur en H est une indication sur le rendement de la distillation en goudrons.

*Soufre.* — Les lignites rhénans en contiennent peu; pour les autres lignites allemands, la teneur atteint 5 pour 100. Une partie du soufre reste dans les cendres, d'autant plus que la combustion est moins active. L'anhydride sulfureux est plus ou moins dissocié :



Le sulfate de chaux du lignite est réduit :



Le sulfure de chaux ainsi produit est lui-même partiellement décomposé :



et le gaz sulfurique  $\text{H}^2\text{S}$  tend à brûler.

*Cendres.* — Elles comprennent les cendres de plantes mais surtout les sédiments. Dans le bassin rhénan, la teneur est faible, 3 ou 4 pour 100 au plus, dont un peu moins de la moitié en chaux.

On y trouve :

*a.* Oxydes de Fe, Al, Ca, Mg, Na, traces de Mn et de St.

*b.* Acides silicique, sulfurique, sulfureux, thiosulfurique, sulphydrique, carbonique et phosphorique, particulièrement dans les cendres entraînées par les gaz qui causent des dommages à la végétation; les substances les plus nuisibles paraissent être le sulfate de soude, les sulfures et les thio-sulfates.

Les cendres recueillies sous les grilles présentent une réaction alcaline faible, elles sont plutôt nuisibles à la culture.

*Bitume.* — C'est la partie soluble dans le benzol ou le tétrachlorure de carbone (qui entraîne aussi les acides humiques), elle fond entre 80° et 90°; son poids spécifique

est voisin de 1 et sa teneur en cendres atteint 4,6 pour 100 parce que ses acides organiques forment, avec l'alumine, la chaux et la magnésie des savons solubles dans le benzol.

Le bitume se définit par trois caractéristiques :

*a.* Acidité : nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour neutraliser 1<sup>g</sup> de bitume.

*b.* Saponification : nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour saponifier 1<sup>g</sup> de bitume.

*c.* Éthérification : différence des caractéristiques *b* et *a*.

On trouve ainsi :

<i>a</i> .....	20,2 à 25,3
<i>b</i> .....	72,7 à 80,3

Point de fusion variant de 83<sup>o</sup>,5 à 86<sup>o</sup>.

Les teneurs en bitume étant les suivantes :

Pyropissit.....	70 pour 100
Schwelkohle.....	25 »
Fuerkohle.....	10 »

(beaucoup moins dans le bassin rhénan).

*Acides humiques.* — Le bitume étant enlevé par le benzol, le lignite est traité par une solution de soude et les acides humiques sont précipités par neutralisation. Ces corps sont hygroscopiques; en solution ammoniacale, ils absorbent l'azote de l'air.

*Constituants insolubles.* — Ce sont les acides humiques insolubles dans Na OH et les autres composés organiques dont la cellulose.

Les acides et substances humiques caractérisent les lignites, lui donnent sa couleur brune et la propriété de colorer en brun la potasse.

**Propriétés physiques des lignites allemands.** — La structure varie beaucoup, elle est fibreuse, ligneuse, terreuse

ou résineuse. Certains sont ternes, d'autres brillants, la couleur est très différente d'un échantillon à l'autre : gris jaunâtre presque blanc pour le pyropissit, plus souvent clair ou foncé, parfois noir de poix.

Le pyropissit est plus léger que l'eau (0,8), les Fuerkohlen sont plus lourds (1,2 à 1,5); on trouve toutes les densités intermédiaires. Le coefficient de dureté varie de 1 à 3.

**Combustion spontanée.** — Au contact de l'air, le lignite brunit, absorbe l'oxygène, les teneurs en carbone et en hydrogène diminuent; le pouvoir calorifique diminue ainsi que le rendement en goudron, lequel s'enrichit d'ailleurs en paraffine: le bitume semble ainsi résister à la décomposition. Les lignites soumis à la pluie et au vent se décomposent plus vite.

L'élévation de température qui accompagne cette transformation tient sans doute à l'absorption d'oxygène et surtout d'*ozone* par les substances humiques non saturées: l'évaporation des eaux de pluie donne en effet de l'ozone qui amorce l'action de l'oxygène. L'ozone est absorbée par les substances humiques à la température ordinaire et les ozonides formés se décomposent au contact de l'eau en donnant de la chaleur. Il est vérifié que *les incendies spontanés sont plus fréquents lorsque des grains alternent avec des coups de soleil.*

Une forte teneur en matières humiques, une grande proportion de poussier augmentent la surface exposée à l'air; les tas irréguliers avec recoins soustraits au refroidissement, l'air marin, augmentent les risques. La ventilation est nuisible et les dépôts à l'air libre s'enflamment plus facilement que ceux qui sont en silos fermés.

**Pouvoir calorifique.** — A la bombe calorimétrique sous 25<sup>atm</sup> on trouve, pour les lignites bruts, les chiffres suivants :

Saxe.....	2000 à 3200 <sup>cal</sup>
Nieder-Lausitz.....	1800 à 2500
Rhénanie.....	1800 à 2100
Bohême.....	4000 à 5600

Le lignite sec donne davantage, celui de Saxe jusqu'à 6600 à 7700<sup>cal</sup>.

**Gazogènes**. — Il existe des gazogènes alimentés avec des *morceaux* de lignite (le poussier doit être aggloméré) qui fonctionnent sans addition de vapeur, car l'eau ne manque pas dans le combustible. Le gaz doit être soigneusement épuré à cause de la grande quantité de goudrons produits.

La Gasmotorenfabrik Deutz construit des gazogènes à deux zones : l'une inférieure, au-dessus de la grille; l'autre supérieure, sous la trémie de remplissage, avec deux entrées d'air. Les gaz sont aspirés entre les deux zones de combustion et les goudrons décomposés sont transformés en gaz permanents.

A Charlottenbourg, avec du lignite à 2200<sup>cal</sup>, on obtient le cheval-heure pour 1<sup>kg</sup>,289 de lignite, soit 2836<sup>cal</sup>, ce qui correspond à un rendement calorifique de 22,3 pour 100.

**Formation des lignites allemands**. — Ce sont des formations tertiaires d'eau douce ou faiblement saumâtre.

Les formations de l'*Éocène* sont rares et peu importantes.

On ne rencontre pas de lignites dans l'Oligocène inférieur ou moyen, mais seulement dans le dépôt de mollasse de l'*Oligocène supérieur* (Saxe, Thuringe, Hesse et Brunswick).

Le *Miocène*, caractérisé par une régression marine générale, est la période importante pour les lignites. Les formations d'eau douce, riches en lignite qu'on trouve dans les régions exnudées sont : la molasse de Haute-Bavière, les gisements du Rhin inférieur, de Hesse, de Saxe et de certaines régions du Nord. Dans l'Est (Prusse occidentale,

Posnanie, Basse-Silésie), les lignites sont recouverts d'une couche d'argile peu calcaire, grasse, le Posener Flammenton dont l'épaisseur empêche l'exploitation. Le Mecklembourg et le nord du Brandebourg sont relativement pauvres en lignites.

Pendant la période *pliocène*, la mer se retire complètement d'Allemagne, les formations de lignite sont limitées à de petites régions marécageuses, notamment en Rhénanie.

**Gisement pliocène du bassin de Cologne.** — Ce sont des amas lenticulaires qui sont exploités lorsqu'ils sont assez peu profonds pour l'être à ciel ouvert; ils se trouvent à l'ouest de Düren dans les vallées de la Roer et de l'Inde. Les mines de *Lucherberg* et de *Zukunft* sont en activité. Celles de *Maria-Teresia* sont abandonnées, elles comportent cependant une couche de 12<sup>m</sup> à 30<sup>m</sup> de profondeur, ce qui permet de se faire une idée de la limite d'exploitation rémunératrice pour ces lignites.

Le Syndicat de Cologne estime à 6 milliards de tonnes les réserves de ces gisements; d'après les sondages actuellement terminés, on ne peut trouver plus de 69 millions de tonnes exploitables, mais de nouveaux travaux de découverte sont en cours.

**Gisement miocène du bassin de Cologne.** — Ce gisement est beaucoup plus important. Dans la baie de Cologne, le Miocène, recouvert par le Pliocène et le Quaternaire, n'apparaît que dans les vallées. La partie centrale et nord de la baie de Cologne ou *Vorgebirge* est la plus riche, car elle contient le lignite de consistance terreuse propre à l'agglomération.

Le *Vorgebirge* comprend une « terrasse principale » de 5<sup>km</sup> à 6<sup>km</sup> de largeur entre les dépressions du Rhin, de la Swist et de l'Erft, et de 45<sup>km</sup> de longueur entre Roisdorf (près Bonn) et le confluent du Rhin et de l'Erft.

En remontant du Sud au Nord, l'épaisseur de la couche combustible ne commence à être suffisante qu'aux mines de Lucretia et Berggeist.

L'apparition brusque de la couche principale s'explique par une faille qui a constitué un fossé au Miocène inférieur. L'épaisseur augmente vers le Nord : les mines Brühl, Roddergrube, Gruhl, Donatus, Mariglück exploitent 30 à 40<sup>m</sup> d'épaisseur de lignite; la mine de Vereinigte Ville a une couche de 50<sup>m</sup>. A l'Est, la couche s'amincit à 20-30<sup>m</sup> dans le versant de Frechen.

A l'Ouest, la couche a 20<sup>m</sup> d'épaisseur sur une longueur de 20<sup>km</sup> le long de l'Erft, entre Liblar et Quadrath (mines de Liblar et Concordia); la vallée de l'Erft occasionne des cassures. Au nord de Concordia la couche passe de 22 à 52<sup>m</sup> et se maintient à cette épaisseur jusqu'à Turnich. A une zone de faible épaisseur, 10<sup>m</sup>, qui traverse le bassin de Frechen à Horrem, succède une couche de 60<sup>m</sup>, puis de 80<sup>m</sup> dans la concession Fischbach qui conserve la même puissance sur de grandes étendues dans les concessions de Fortuna et de Beisselgrube où elle atteint 104<sup>m</sup>. Les variations d'épaisseur s'expliquent par la tectonique.

Le lignite du Vorgebirge, parfois recouvert d'une couche de 0 à 2<sup>m</sup> de Schmierkohle, se présente sous forme de Knabbenkohle dur et ferme qui donne des morceaux, et de Feinkohle, poussier humide qui forme le toit et même la plus grande partie au sud du bassin, le tout en couches horizontales régulières. Il ne paraît y avoir, entre les deux variétés, qu'une différence de structure qui s'explique par les pressions, les altérations dues à l'air et aux eaux d'infiltration. Le mur de la couche est une argile dont on fait des poteries; le toit est variable, argile miocène à la bordure ouest, sédiments fluviaux du Pliocène et du Quaternaire partout ailleurs, soit 8 à 12<sup>m</sup> de morts-terrains, sauf au Nord où les sables siliceux et les argiles du Pliocène atteignent 30 ou 40<sup>m</sup> d'épaisseur.

**Estimation des réserves du Vorgebirge.** — Le Syndicat de Cologne évalue les réserves du Vorgebirge à  $2,7 \times 109$  tonnes, évaluation qui semble modérée. L'ensemble des concessions mesure, en effet,  $35\text{km}^2$  de long sur 8 à  $9\text{km}^2$  de large dont il faut retrancher la moitié, il reste donc  $140\text{km}^2$  dans lesquels la couche est de 18 à  $100\text{m}$ ; si l'on compte  $20\text{m}$  comme puissance moyenne, on trouve, en prenant 1 pour poids spécifique du lignite :

$$20 \times 140 \times 10^6 = 2,8 \times 10^9.$$

**Mines de Liblar.** — La mine de lignite de Liblar, située près de Duren en Rhénanie, est une des plus importantes du bassin rhénan.

Le lignite, de couleur havane, contient une très forte proportion de matières ligneuses imparfaitement transformées; sa composition est la suivante :

	Pour 100.
Eau hygroscopique.....	60,1
Eau constitutionnelle.....	3,3
Matières volatiles.....	14
Carbone.....	17,7
Cendres.....	2,3
Goudron.....	2,6
	<hr/>
	100,0

Son pouvoir calorifique à l'état brut est de 1869 calories.

Ramené à environ  $\frac{1}{2}$  pour 100 d'humidité et transformé en briquettes, il donne un combustible dont voici les caractéristiques :

	Pour 100.
Eau.....	16 - 19
Matières volatiles.....	37 - 42
Carbone.....	35 - 40
Cendres.....	5 - 7

Pouvoir calorifique, environ 4700 calories.

Ces briquettes, très solides, peu cendreuses, sont utilisées pour le chauffage domestique principalement; cependant quelques presses fabriquent des briquettes d'un modèle plus petit convenant aux usages industriels. Bien que le pouvoir calorifique de ces briquettes soit assez faible par rapport au bon charbon, comme elles brûlent sans produire de mâchefers et sans développer une température élevée, elles procurent une économie qui n'est pas négligeable par suite de l'excellente conservation des grilles et des maçonneries des foyers. En outre, la manipulation des briquettes, facile, coûte fort peu.

La mine est exploitée à ciel ouvert au moyen d'appareils mécaniques extrêmement puissants.

La couche de lignite est recouverte de 6 à 12<sup>m</sup> de sable glaiseux facilement décapable; elle a une puissance variant de 25 à 43<sup>m</sup> et est barrée à une dizaine de mètres du mur, d'une couche de marnes de 3 à 5<sup>m</sup> qui doit être soigneusement enlevée.

L'exploitation se fait en trois étages au moyen d'excavateurs à portiques, dont le plus gros a une puissance de production de 3000 à 3500<sup>m<sup>3</sup></sup> par jour. Il est mû électriquement avec du courant à 3000 volts. L'excavateur est muni d'une chaîne à raclettes qui gratte le front de taille sur 20<sup>m</sup> de hauteur environ; les morceaux de lignite qui tombent sont repris par une chaîne à godets qui les transporte dans un silo placé à la partie supérieure du portique. En manœuvrant la trappe de ce silo, on remplit les berlines passant continuellement sous le portique.

L'excavateur roule sur une voie de plus de 3<sup>m</sup> de largeur qui se ripe mécaniquement au moyen d'un appareil spécial.

Des chaînes de traînage amènent les berlines pleines sur un plan incliné qui dessert l'étage supérieur de l'usine. Le basculement se fait à cet endroit par renversement automatique des wagonnets qui retournent à vide sous les excavateurs. Deux chaînes de traînage semblables, munies

chacune d'un basculeateur et desservant chacune un excavateur, permettent une production journalière de 4000 tonnes de lignite brut.

Le décapage des morts-terrains qui recouvrent la couche se fait également au moyen d'un excavateur; les déblais sont chargés dans des wagonnets qui, trainés par des locomotives à accumulateur de vapeur, viennent déverser leur chargement dans le trou formé par l'enlèvement du lignite; c'est là aussi que sont déversées les marnes qui barrent la couche et qui sont décapées par une grue à godet preneur.

Le front de taille a environ 500<sup>m</sup> de longueur; la surface du lignite est creusée de rigoles d'assèchement, les eaux sont reprises à un poste de pompage, et renvoyées à l'usine où elles sont épurées et utilisées.

C'est grâce aux moyens mécaniques puissants dont elle dispose, que le prix de revient du lignite est extrêmement bas; il atteint à peine 0<sup>fr</sup>,25 à la tonne.

---

## CHAPITRE VI.

### EXPLOITATION DES LIGNITES A CIEL OUVERT.

---

SOMMAIRE. — Comparaison entre l'exploitation à ciel ouvert et l'exploitation souterraine. — Principe de la découverte. — Départ de l'exploitation. — Machines. — Dragues. — Exécution des terrassements. — Pelles mécaniques. — Abatage du lignite. — Pelles électriques. — Transport à l'usine.

**Comparaison entre l'exploitation à ciel ouvert et l'exploitation souterraine.** — Dès que la couche de morts-terrains qui couvre le lignite dépasse une certaine épaisseur, variable suivant les conditions locales, l'exploitation souterraine doit être envisagée.

Cette opération n'est possible jusqu'à une certaine profondeur, que si le lignite est de qualité suffisante pour payer les frais supplémentaires qui en résultent; il faut, en outre, que les couches de lignite soient nombreuses, mais que chacune d'elles ne soit pas trop épaisse, ce qui rendrait le travail difficile à cause de la mauvaise tenue du lignite.

Les dépenses d'exploitation souterraine comportent :

- L'établissement de puits et de galeries;
- Les travaux pour le passage des failles;
- L'entretien des boisages;
- L'aérage et l'éclairage.

Le rendement diminue par la suite de la perte inéluctable d'une certaine quantité de combustible, par la complication de l'extraction, qui exige un plus grand nombre

d'ouvriers répartis en chantiers éloignés dont la surveillance est difficile.

L'exploitation à ciel ouvert, beaucoup plus facile à l'aide de procédés perfectionnés, oblige cependant à enlever et transporter un cube important de terrains. Même lorsque ceux-ci comportent des sables, galets et argiles susceptibles d'être vendus à des entrepreneurs de travaux ou à des briqueteries, la découverte est onéreuse. D'autre part, bien que l'on s'attache à maintenir un front de taille aussi vertical que possible afin de limiter l'action des pluies, et à réduire le délai entre la découverte de la couche et l'abattage du combustible; dans l'intervalle, le lignite reste exposé aux intempéries. Les pluies violentes noient la mine, provoquent des éboulements et détruisent les voies d'exploitation; les tempêtes de neige et les fortes gelées arrêtent les travaux.

Cependant la difficulté de trouver de la main-d'œuvre à bon compte est un motif de ne pas hésiter, à exploiter en découvert chaque fois qu'on le peut. On peut calculer, d'après : les épaisseurs respectives des morts-terrains et du lignite, le taux des salaires et les rendements des appareils d'extraction dans les deux cas, la limite à partir de laquelle l'exploitation souterraine est plus économique.

Nous ne pouvons donner de calculs absolus, c'est pour chaque gîte un cas d'espèce. Pour fixer les idées, nous dirons qu'en 1914, dans les deux bassins de la région de Cologne (bassin ouest et Vorgebirge), toutes les exploitations sont à ciel ouvert. Au contraire, dans un grand nombre de mines allemandes, par exemple dans certaines mines du Westerwald, rattachées depuis au Syndicat rhénan, le lignite est tiré de galeries creusées à flanc de coteau ou desservies par des puits. Au moment de la guerre, la découverte coûtait de 28 à 75 pfennings par mètre cube, aussi l'exploitation à ciel ouvert était avantageuse quand l'épaisseur des morts-terrains était inférieure à un chiffre compris entre

3,2 et 1,2 fois l'épaisseur de la couche, suivant les facilités d'excavation. On peut admettre que l'on doit exploiter à découvert lorsque l'épaisseur des morts-terrains ne dépasse pas 2 à 2,5 fois celle de la couche, limite qui peut être reculée si la découverte est facile (terrains sableux) ou si certaines couches de découverte (graviers, argile, etc.) sont utilisables, sans exagération des frais d'extraction.

**Principes de la découverte.** — On creuse une fosse assez profonde pour atteindre le mur de la couche et on l'étend

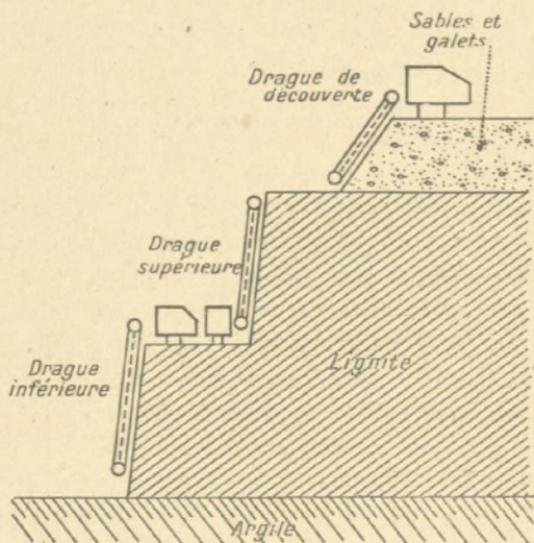


Fig. 8. — Schéma d'une exploitation avec dragues et wagonnets. Coupe d'un front de taille.

dans la direction convenable. On fait parfois simultanément l'abatage et la découverte sur le même côté de la fosse, ce qui réduit la durée d'exposition du combustible aux intempéries, mais nuit au nettoyage de la partie supérieure de la couche. Devant le front de taille circulent des berlines tirées par chaîne ou par câble. L'usine de traitement est

installée à proximité du côté du rectangle de la fosse qui ne doit plus être modifié.

Dans les exploitations allemandes avec dragues ou excavateurs et wagonnets, ces derniers descendent par un plan incliné et circulent devant les fronts de taille qui ne sont pas en général exploités simultanément. La couche, étant très puissante, doit être exploitée en deux étages séparés par un palier sur lequel circulent dragues et berlines (*fig. 8*). On a ainsi des dragues qui excavent le front supérieur et d'autres qui fonctionnent vers le bas; on peut d'ailleurs employer d'autres machines que nous examinerons. Lorsque la découverte par étage unique est possible, on emploie une drague fonctionnant vers le bas pour faciliter l'établissement des voies d'accès. Les déblais sont transportés autour de la mine et déversés du côté opposé au front de taille, de sorte que la fosse progresse en s'éloignant de l'usine.

**Départ de l'exploitation.** — On commence souvent par un angle de la concession et l'on se dirige vers l'intérieur en modifiant, s'il y a lieu, la forme de la fosse, qui devient souvent un trapèze dont on exploite la base et l'un des côtés, les deux autres constituant des plans inclinés pour le déversement des remblais : il faut environ 50<sup>m</sup> entre les deux fronts pour éviter que l'éboulement des remblais par la pluie ne couvre le lignite.

Dans certains cas, on commence dans la partie où le lignite est le plus près de l'affleurement, ce qui diminue le dépôt initial des remblais qu'on dépose à l'endroit où la couche, trop profonde, est inexploitable. Il faut aussi commencer dans la région la moins aquifère afin que le creusement dessèche de proche en proche les terrains rencontrés.

**Machines.** — L'ouverture de la fosse et son extension doivent être faites mécaniquement.

On emploie des *pelles mécaniques* ou des *dragues* à godets,

les secondes sont généralement préférées en Allemagne.

Quand on emploie les dragues inférieures, il est indispensable de leur aménager préalablement un chemin que les dragues supérieures et surtout les pelles feraient elles-mêmes.

**Dragues.** — En Rhénanie, on emploie deux types : le « Lübeck » et le « hollandais »; suivant les débits et la hauteur des gradins, le premier est le plus puissant.

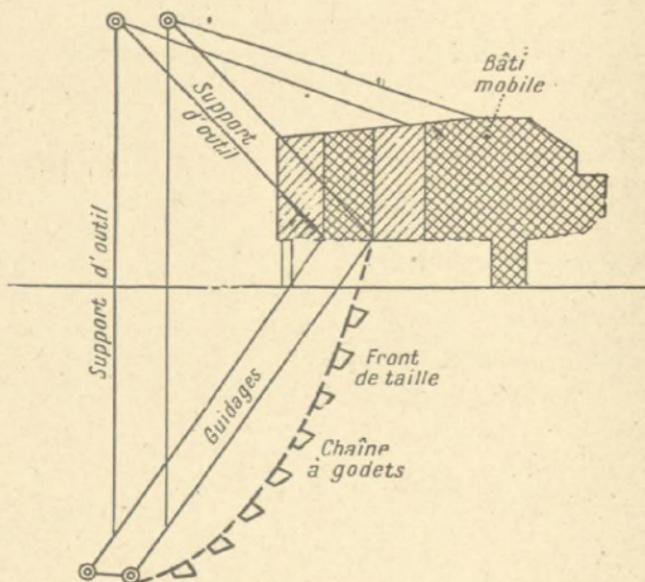


Fig. 9. — Schéma d'une drague.

La chaîne à godets, guidée ou pendante, est attachée au bâti par des supports qui permettent de l'incliner à volonté (fig. 9).

Le bâti des « Lübeck » roule sur trois rails : les deux plus rapprochés du talus supportent un chariot à cinq ou six essieux; le troisième rail supporte l'arrière de la machine

par l'intermédiaire de quatre ou cinq roues; entre les deux derniers circulent des wagons qui reçoivent successivement les déblais recueillis dans une trémie. La drague tomberait dans le talus si l'on n'équilibrait pas l'arrière en y plaçant, en outre de la machine d'extraction, de la chaudière ou du moteur électrique, un contrepoids chargé convenablement de ballast.

L'équilibre des dragues hollandaises est meilleur; elles se déchargent en arrière dans des wagons circulant extérieurement.

Les chaudières, chauffées aux briquettes de lignite, atteignent une pression de 12<sup>atm</sup>; les dragues hollandaises, de 45 à 60 CV et les « Lübeck », de 80 à 150 CV, sont capables d'extraire *théoriquement* de 800 à 1200<sup>m<sup>3</sup></sup> et de 1500 à 3000<sup>m<sup>3</sup></sup> par jour, mais *il faut réduire ces chiffres de 30 à 50 pour 100* suivant les terrains et l'inclinaison du talus.

Lorsque les dragues sont électriques, on emploie du courant continu 500 volts ou de l'alternatif 2000 volts. Le continu permet d'alimenter en même temps les locomotives: le courant revient par les rails dont les éclisses sont munies de fils de cuivre. Le courant alternatif est généralement triphasé, les locomotives sont alors à vapeur.

Avec les chaînes guidées, les godets se remplissent plus complètement mais le poids et les résistances passives augmentent, de sorte que ces appareils ne sont avantageux que dans les terrains durs ou à consistance irrégulière dans lesquels on peut cependant former des talus réguliers; les chaînes pendantes sont préférables pour les terrains sablonneux avec cailloux et graviers.

La chaîne à godets est actionnée par deux poulies hexagonales (*fig. 10*) et guidée, à l'extrémité opposée, par deux poulies folles circulaires dont l'axe peut être déplacé pour régler la tension de la chaîne. Les godets sont armés de couteaux amovibles, ils remontent les matériaux qui se déversent dans la trémie de chargement des wagons. Dans les dragues

Lübeck, deux registres latéraux, manœuvrés par pistons à vapeur ou à air comprimé, répartissent uniformément les matériaux dans chaque wagon.

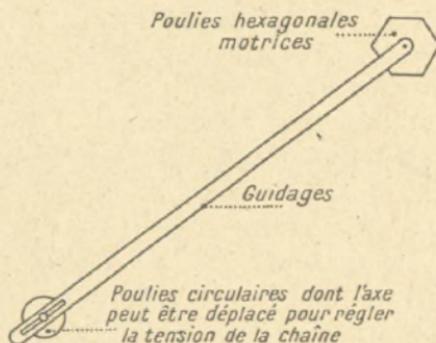


Fig. 10. — Schéma des guidages de la chaîne à godets.

Les dragues laissent dans le sol inférieur des dentelures, très accentuées avec les chaînes guidées (fig. 11) auxquelles

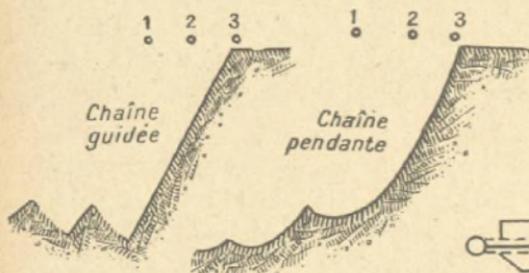


Fig. 11. — Dentelures : avec chaîne guidée, avec chaîne pendante.

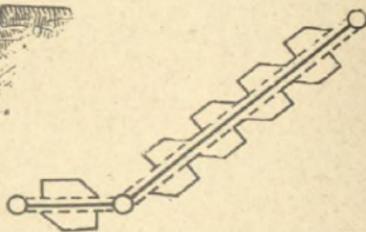


Fig. 12. — Traineau avant.

il faut ajouter à l'avant un petit traineau articulé (fig. 12) qui aplanit le toit de la courbe.

Pour éviter l'arrêt de la drague après chaque chargement d'une rame, on emploie des dragues à deux trémies pouvant charger successivement deux rames, l'une sur la voie intérieure, l'autre sur la voie extérieure.

**Exécution des terrassements.** — On pose la voie sur le sol nivelé et l'on monte la drague. Les souches d'arbres étant préalablement enlevées à la main, on abaisse la chaîne horizontalement; les godets tranchent le sol et s'enfoncent progressivement. Lorsque la drague a parcouru le front de taille, on la fait revenir en arrière, on incline le guidage et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on atteigne la plus grande inclinaison possible. On recule alors, de 1<sup>m</sup> à 1<sup>m</sup>,50, la voie et l'on recommence. Une drague ordinaire permet d'atteindre de 9 à 12<sup>m</sup> de profondeur, certaines grosses dragues vont jusqu'à 18<sup>m</sup>. Si l'épaisseur des morts-terrains est plus grande, il faut étager plusieurs dragues supérieures ou inférieures, on les conduit à leurs emplacements à l'aide de chemins ayant une pente de  $\frac{1}{24}$ .

Il est avantageux d'avoir des locomotives qui puissent passer sous la drague; les wagons sont en bois et peuvent basculer leurs chargements de 2 ou 3<sup>m</sup> et même davantage; les voies sont de 750<sup>mm</sup> ou de 900<sup>mm</sup>.

**Pelles mécaniques.** — Les pelles (*fig. 13 et 14*) circulent

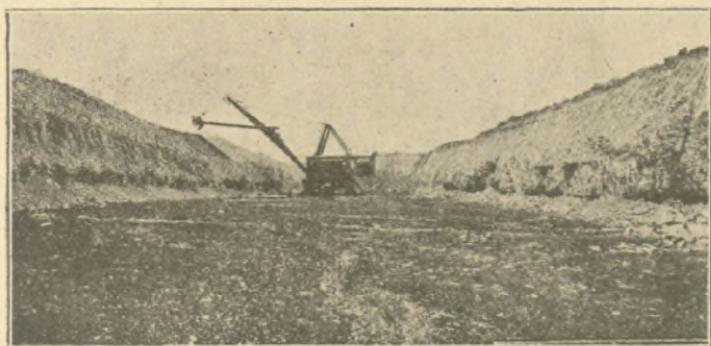


Fig. 13. — Pelle électrique en action aux mines de Pittsburgh.

sur deux rails écartés. Le manche des pelles est formé de deux crémaillères (*fig. 15*), leur fond est un registre qui

s'ouvre pour le déchargement (*fig. 16*); elles sont mues par la vapeur ou l'électricité; leur capacité, 2 à 3<sup>m</sup>, assure un



Fig. 14. — Pelle à vapeur « Bucyrus ».

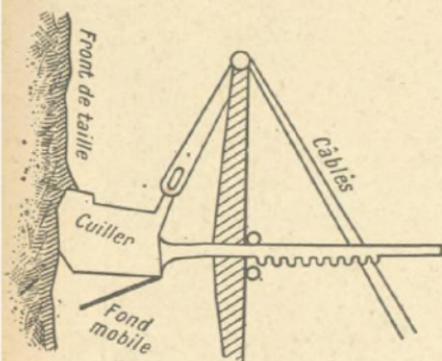


Fig. 15. — Schéma d'une pelle.

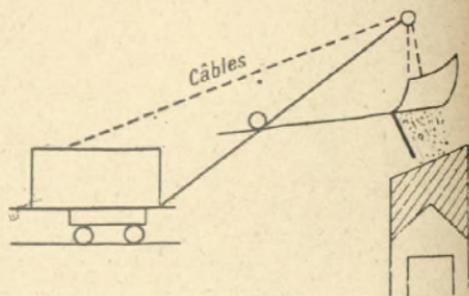


Fig. 16. — Déchargement d'une pelle.

débit équivalent à celui d'une drague hollandaise.

**Abatage du lignite.** — L'abatage se fait souvent en

plusieurs étages à l'aide de machines mues électriquement pour éviter les incendies. On emploie :

- 1<sup>o</sup> Les dragues inférieures;
- 2<sup>o</sup> Les dragues supérieures ou racleuses;
- 3<sup>o</sup> Les raboteuses ou charrues mécaniques;
- 4<sup>o</sup> Les pelles mécaniques.

1<sup>o</sup> Les *dragues d'exploitation inférieures* sont toujours à chaîne guidée, le tranchant des godets est muni de deux dents destinées à attaquer les troncs d'arbres, le fond des godets comporte trois trous pour évacuer l'eau.

En 1909, une drague électrique de 130 CV abattait 1610<sup>m³</sup> en 10 heures, le mètre cube revenait à 8 marks et demi, amortissement compris.

2<sup>o</sup> Les *dragues racleuses* pour le front de taille supérieur comportent une chaîne dentelée qui détache le lignite, lequel est pris au pied du talus par une chaîne à godets qui le transporte dans la trémie.

En 1909, une drague racleuse électrique abattait, en 10 heures, 500<sup>m³</sup> de lignite compact donnant 720<sup>m³</sup> après foisonnement à raison de 12,4 marks par mètre cube, tous amortissements et intérêts compris.

3<sup>o</sup> Les *raboteuses* permettent d'exploiter, en un seul étage, des couches de 50<sup>m</sup>; elles exigent deux voies de roulage (*fig. 17*).

Sur la voie supérieure, circule un treuil mobile ou voiture conductrice; sur la voie inférieure, circule une ramasseuse; entre les deux, un chariot-outil est suspendu au treuil mobile.

L'outil est un tambour à six angles mû par un moteur électrique et roulant sur quatre petites roues dont les pivots sont réglables pour faire varier l'épaisseur de rabotage de 15 à 35<sup>cm</sup>, suivant la dureté du lignite.

Par exemple, on emploie : un moteur de 30 CV pour le treuil, un moteur de 7,5 CV pour l'avancement de la voiture,

un moteur de 2 CV pour le déplacement du bouclier qui protège le treuil, un moteur de 40 CV pour le tambour-

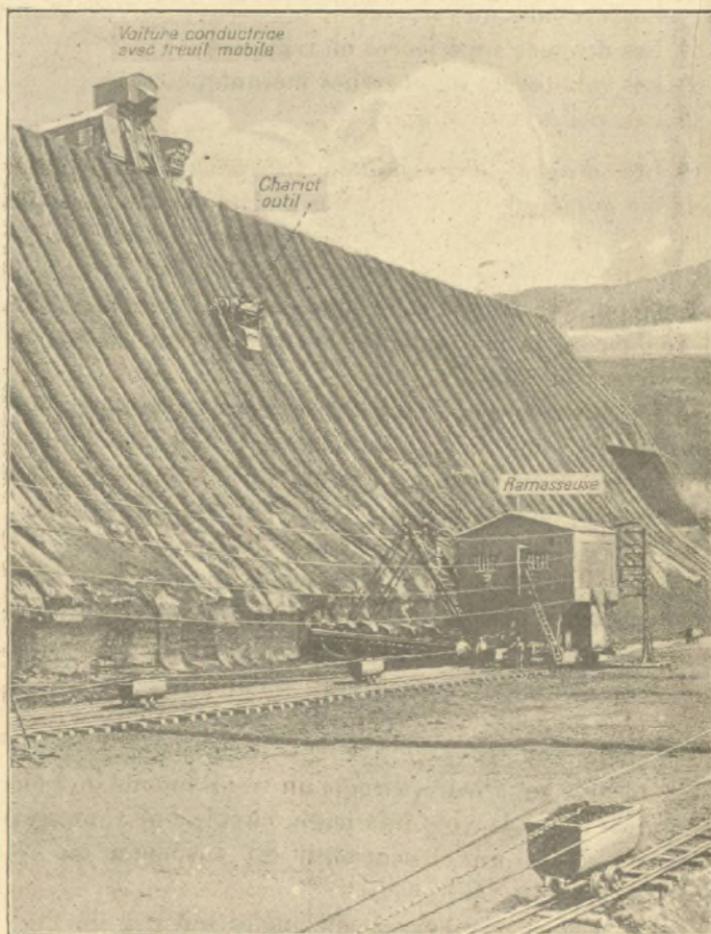


Fig. 17. — Raboteuse.

outil et deux moteurs de 3,5 CV chacun pour actionner les pivots régulateurs des roues arrière du chariot porte-outil; un moteur de 40 CV pour la ramasseuse.

En 1909, on abattait ainsi 986<sup>m<sup>3</sup></sup> de lignite compact en 10 heures sur un front de taille de 200<sup>m</sup>, haut de 26<sup>m</sup>, à raison de 8,2 marks par mètre cube après foisonnement (1). Cet appareil laisse à chaque extrémité du front une bande de 40<sup>cm</sup> qu'il faut enlever à la main.

**Pelles électriques.** — On emploie l'électricité à cause des dangers d'incendie. Elles ont l'inconvénient de n'avoir qu'une hauteur de coupe assez réduite, ce qui les rend peu pratiques pour l'exploitation des couches épaisses, et de ne pouvoir se déverser directement dans les wagonnets à cause de la grande capacité de la pelle, indispensable au rendement suffisant. On interpose donc, entre la cuiller et le wagonnet, un *distributeur* qu'on fait circuler généralement sur la même voie que la pelle mécanique.

Le levage d'une pelle de 2<sup>m<sup>3</sup></sup> et la rotation du chariot peuvent être assurés par un moteur de 70 CV, un moteur de 20 CV sert à déplacer l'ensemble. L'effort, sur le bord antérieur, peut atteindre 16 tonnes; l'avancement, 3<sup>m,50</sup>; la hauteur de coupe, 9<sup>m,50</sup>. L'écartement de la voie est 2<sup>m,90</sup>; le poids, sans les appareils électriques, 40 tonnes. Le courant alternatif est de 500 volts.

Lorsque la cuiller attaque le massif, le courant est de 28 à 30 kilowatts pendant 3 à 4 secondes, puis tombe à 22 ou 25 kilowatts pour le remplissage qui dure 20 à 26 secondes, s'abaisse encore à 14 kilowatts, pendant les 15 secondes de la rotation à pleine charge et le déchargement, enfin se réduit à 8 ou 10 kilowatts pour la rotation à vide et l'abaissement de l'outil (15 secondes). On peut faire un tour complet en une minute, ce qui donne 120<sup>m<sup>3</sup></sup> par heure pour une dépense de 0,638 mark par mètre cube, amortissement et intérêts compris.

---

(1) Le foisonnement est d'environ 40 pour 100.

**Transport à l'usine.** — Le lignite est transporté du front de taille à l'usine dans des wagonnets actionnés par chaîne ou par câbles aériens.

Les *wagonnets* ne basculent pas, mais se renversent entièrement. Les *chaînes* qui les actionnent et les maintiennent s'allongent; on doit les tendre et même couper ensuite un certain nombre de maillons; ces chaînes sont commandées par un tambour généralement tronconique à axe vertical.

Le dispositif de transport par *câbles aériens* comporte des câbles porteurs et des câbles moteurs suspendus à des pylônes dont l'écartement normal (50 à 100<sup>m</sup>) peut être augmenté dans les terrains difficiles.

Les câbles porteurs comportent des fils extérieurs, arrangés de sorte que la rupture de l'un d'eux ne produise pas sa séparation et que la surface extérieure reste lisse. A chaque pilier, le câble repose sur un sabot articulé en fonte dont la rainure bien graissée diminue le frottement. La tension d'un câble peut être réglée à une extrémité non ancrée; si la ligne dépasse 2<sup>km</sup>, il faut ancrer aux deux extrémités et ménager un ou plusieurs tendeurs intermédiaires.

Aux extrémités et au droit des tendeurs, le câble doit être remplacé par des rails aériens sur lesquels on pousse les berlines, sauf lorsqu'on ménage un dispositif de *débranchement automatique* avec pente appropriée.

Il est souvent préférable, d'ailleurs, de remplacer les câbles par des *rails* aériens, particulièrement dans les trajets courts que l'on ne doit plus modifier ensuite.

Dans les installations modernes, le câble moteur est *au-dessus* du câble porteur; il est tendu à une extrémité par une poulie à contrepoids et actionné à l'autre extrémité par poulie et contre-poulie.

Les berlines à section trapézoïdale sont suspendues par un axe au-dessous de leur centre de gravité, ce qui

provoque leur basculement dès qu'on enlève le taquet qui les maintient pendant le transport : elles tiennent  $0^m,5$  à  $0^m,8$ .

Dans le système *Pohling*, deux mâchoires serrées par deux filetages de sens contraires viennent pincer ou libérer le câble sous l'action d'un levier qui bute sur des taquets. A l'embranchement, le rail est en pente, une roulette incline le levier dont le serrage s'achève au bas de la déclivité par choc du levier contre un taquet. Le débranchement s'opère de même en sens inverse.

Le système *Mackensen* est utilisé lorsque le câble moteur est au-dessus du câble porteur. Deux roulettes auxiliaires, dont l'axe se trouve entre les branches de suspension de la berline, sont prises au moment opportun par un guidage auxiliaire, ce qui a pour effet de desserrer la griffe du câble moteur, laquelle se referme automatiquement au bas de la déclivité lorsque les roulettes quittent le guidage auxiliaire ; le dispositif de débranchement est l'inverse du précédent.

On emploie aussi le système *Bleichert* (fig. 18 et 19) qui ne

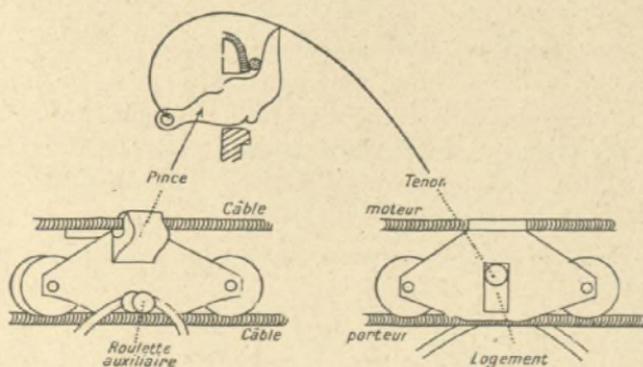


Fig. 18 et 19. — Dispositif de transport Bleichert.

comporte qu'une seule roulette auxiliaire sur l'arbre de suspension de la berline, le tenon étant directement articulé sur la roulette.

---

## CHAPITRE VII.

### SÉCHAGE.

---

SOMMAIRE. — Calculs calorifiques. — Calcul pratique de la quantité d'eau à enlever par séchage. — Difficultés des opérations de séchage. — Influence de l'état de l'air atmosphérique. — Différents séchoirs. — Dessiccateur Rowold à air chaud. — Emploi de la vapeur d'échappement. — Dessiccateurs à plateaux. — Chauffage des plateaux. — Bilan thermique : chaleur utile, chaleur retenue par le lignite chaleur emportée par l'air. — Dessiccateurs tubulaires.

**Calculs calorifiques.** — Le séchage du lignite, opération très délicate, est indispensable pour le briquetage; il peut être avantageux pour augmenter le rendement des appareils de carbonisation où l'on aurait à traiter des lignites très humides.

En Rhénanie, le séchage a pour but de ramener à 15 pour 100 l'humidité de lignites frais à 60 pour 100. Ainsi pour avoir une tonne séchée à 15 pour 100, c'est-à-dire 850<sup>kg</sup> de substance sèche, il faut traiter :

$$\frac{850}{480} = 2,125 \text{ de lignite brut}$$

qui contiennent :

$$2,125 \times 0,6 = 1,275 \text{ d'eau.}$$

Il faut donc évaporer :

$$1,275 \times 0,150 = 1,9125 \text{ d'eau.}$$

Pour une température ambiante de 9°, il faut 630 000<sup>cal</sup> par tonne, soit 708 750 en tout.

Il suffirait théoriquement de brûler  $\frac{708\ 750}{2\ 000\ 000}$ , soit  $0^t,354$  de lignite brut, si l'on ne devait pas échauffer en même temps le lignite et compter les pertes par rayonnement, conductibilité, condensation de vapeur ainsi que la consommation des presses à agglomérer dans les usines à briquettes où il faut, en pratique, de  $2^t,8$  à  $3^t,5$ , soit 3 tonnes en moyenne de lignite brut pour avoir 1 tonne de briquettes.

Quant au pouvoir calorifique des briquettes, si nous partons d'un lignite à  $2000^{\text{cal}}$  et à 60 pour 100 d'eau, le pouvoir calorifique supérieur du lignite brut sera :

$$2000 + 630 \times 0^{\text{kg}},6 = 2378^{\text{cal}},$$

celui des briquettes :

$$2378 \times 2,125,$$

et leur pouvoir calorifique inférieur :

$$2378 \times 2,125 - 630 \times 0,15 = 4958^{\text{cal}}.$$

#### Calcul pratique de la quantité d'eau à enlever par séchage (1).

— Soient :

- $x$  la quantité d'eau (exprimée en kilogrammes) contenue dans  $1^{\text{kg}}$  de lignite brut;
- $r$  la quantité d'eau (en kilogrammes) contenue dans  $1^{\text{kg}}$  de lignite desséché pour la fabrication des briquettes;
- $w$  la quantité d'eau à enlever par séchage, pour chaque kilogramme de briquettes;
- $W$  la quantité d'eau à enlever par séchage par wagon de briquettes;

$1 - x$  représente la quantité de combustible anhydre contenue dans  $1^{\text{kg}}$  de lignite brut;

---

(1) Voir *Revue de l'Ingénieur*, vol. XXVII, nos 5 et 6, novembre et décembre 1920, p. 343 et 407, et vol. XXVIII, n° 1, janvier 1921, p. 9 (VERDIER).

$1 - r$  représente la quantité combustible anhydre dans  $1 \text{ kg}$  de lignite desséché pour la fabrication.

On a :

$$\frac{1-x}{1-r} = \frac{1}{1+w},$$

$$w = \frac{1-r}{1-x} - 1.$$

Évaluons la valeur pratique de  $W$  :

Un wagon de briquettes ne contient pas en réalité 10 tonnes de briquettes, mais  $10\,500 \text{ kg}$ , par suite : de la surcharge prescrite de 1,5 pour 100 ; de la marge nécessaire pour tenir compte des pertes de lignite desséché dues à l'époussiérage et au criblage, pertes qui sont pratiquement de  $350 \text{ kg}$  par wagon.

On a donc :

$$W = 10\,500 \text{ watts} = 10\,500 \left( \frac{1-r}{1-x} - 1 \right) \text{ kg}.$$

Le tableau suivant donne les résultats du calcul pour des teneurs en eau de 40 à 60 pour 100 du lignite brut et une teneur moyenne de 15 pour 100 pour l'eau restant dans le lignite desséché.

La dernière colonne montre nettement que la quantité d'eau à enlever augmente très rapidement avec le pourcentage d'humidité du lignite brut. La différence entre 40 et 41 pour 100 est de  $252 \text{ kg}$ . Elle atteint  $544 \text{ kg}$ , soit près de  $300 \text{ kg}$  en plus entre 59 et 70 pour 100.

Comme la plupart des lignites agglomérables contiennent 50 à 55 pour 100 d'eau, on se rend compte de l'importance capitale que présente, en raison même du bon marché du produit fini, l'installation rationnelle et économique du séchage.

Le lignite brut doit être desséché jusqu'à ce qu'il contienne suffisamment d'eau pour obtenir un bon produit marchand. La teneur correcte en eau du lignite desséché ne peut être obtenue que par des essais pratiques ou des

recherches dans l'usine même. Elle est variable avec chaque qualité de lignite.

Teneur en eau pour 100		Quantité d'eau à enlever par séchage		
du lignite brut.	restant dans le lignite desséché.	par kilogramme de briquettes W.	par wagon de briquettes (10500 <sup>ks</sup> )	
			totale.	en plus.
40	15	0,4167	4,375	
41	15	0,4407	4,627	252
42	15	0,4656	4,888	261
43	15	0,4912	5,158	270
44	15	0,5180	5,439	281
45	15	0,5455	5,728	289
46	15	0,5740	6,027	299
47	15	0,6038	6,339	312
48	15	0,6346	6,663	324
49	15	0,6667	7,000	337
50	15	0,7000	7,350	350
51	15	0,7347	7,714	364
52	15	0,7708	8,094	380
53	15	0,8085	8,490	396
54	15	0,8478	8,902	412
55	15	0,8899	9,333	431
56	15	0,9318	9,784	451
57	15	0,9768	10,256	472
58	15	1,0238	10,750	494
59	15	1,0732	11,269	519
60	15	1,1250	11,812	544

**Difficultés des opérations de séchage.** — Les particules les plus fines du lignite desséché, dont l'évaporation superficielle est considérable, sèchent beaucoup plus vite que les gros morceaux. Si l'on n'y prend pas garde, ces particules trop desséchées deviennent inflammables en même temps qu'il se forme des gaz explosifs.

Ce danger d'explosion et d'incendie peut également se produire avec les plus gros morceaux, lorsque les appareils s'engorgent, par suite du commencement de distillation qui en résulte.

Le réglage est délicat à cause des variations du degré d'humidité du lignite brut, humidité qui varie avec la saison et même l'heure de la journée.

Il faut donc choisir des appareils de séchage bien adaptés à la qualité du lignite qu'on veut traiter et dont le fonctionnement soit assez souple pour tenir compte des variations de la teneur en eau du lignite brut ; mais il faut, d'abord, que ces appareils évitent les *surséchages* et les engorgements.

**Influence de l'état de l'air.** — La vapeur qui se dégage du lignite dans les dessiccateurs doit être continuellement entraînée par un courant d'air.

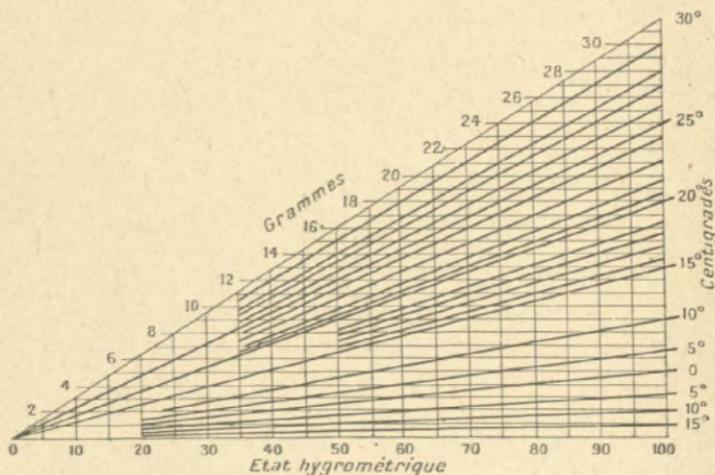


Fig. 20. — Abaque pour le calcul de la vapeur dans l'air.

A cet effet, l'air frais est aspiré dans le voisinage des séchoirs dans lesquels il se réchauffe, ou soufflé et réchauffé préalablement dans des appareils d'époussièrement.

Cet air contient déjà de l'humidité atmosphérique ; on doit chercher à ce qu'il soit aussi sec que possible.

Le diagramme (fig. 20) détermine la masse de vapeur

d'eau contenue dans 1<sup>m</sup> d'air dont on connaît le degré hydrométrique et la température.

Exemple : L'air est à 25° C. ; son état hygrométrique est 60°.

L'ordonnée correspondant à cet état coupe la ligne oblique 25° en un point situé sur l'horizontale indiquant 15<sup>g</sup> par mètre cube.

L'air chaud pouvant absorber plus de vapeur que l'air froid, il convient de réchauffer ce dernier et de régler son passage dans l'appareil de sorte qu'il n'atteigne pas le degré de saturation. Pour cela, il faudra déterminer, plusieurs fois par jour, l'état hygrométrique et la température de l'air ambiant : le mieux est d'avoir des enregistreurs qui assurent un contrôle permanent. Il est bon d'ailleurs de compléter ces observations météorologiques par celle du vent et de sa direction afin de prévoir les variations de l'humidité atmosphérique.

**Différents séchoirs** (1). — Les séchoirs à *gaz chauds* sont interdits en Rhénanie, à cause des dangers d'incendie et d'explosion qu'ils présentent, les anciens appareils de ce genre qui subsistent en Allemagne centrale y sont soumis à une réglementation de sécurité (*Congrès de Halle*, p. 12).

Les appareils à *air chaud*, moins dangereux, sont également très surveillés : un seul type *Rowold* est encore en service dans les usines de Brühl et de Roddergrube du bassin de Cologne pour la fabrication des *Zoojbriketts* très en faveur en Hollande.

Partout ailleurs en Rhénanie, on n'emploie plus pour le séchage que des appareils dans lesquels le lignite est chauffé par contact et rayonnement d'une paroi métallique de l'autre côté de laquelle circule un courant de vapeur, dessiccateurs à plateaux et dessiccateurs tubulaires. On combine d'ailleurs, dans certains cas, l'action de l'air chaud et de la vapeur.

---

(1) Voir, page 142, séchage de la tourbe.

**Dessiccateur Rowold à air chaud.** — Dans une chambre rectangulaire sont disposées deux rangées verticales de tôles

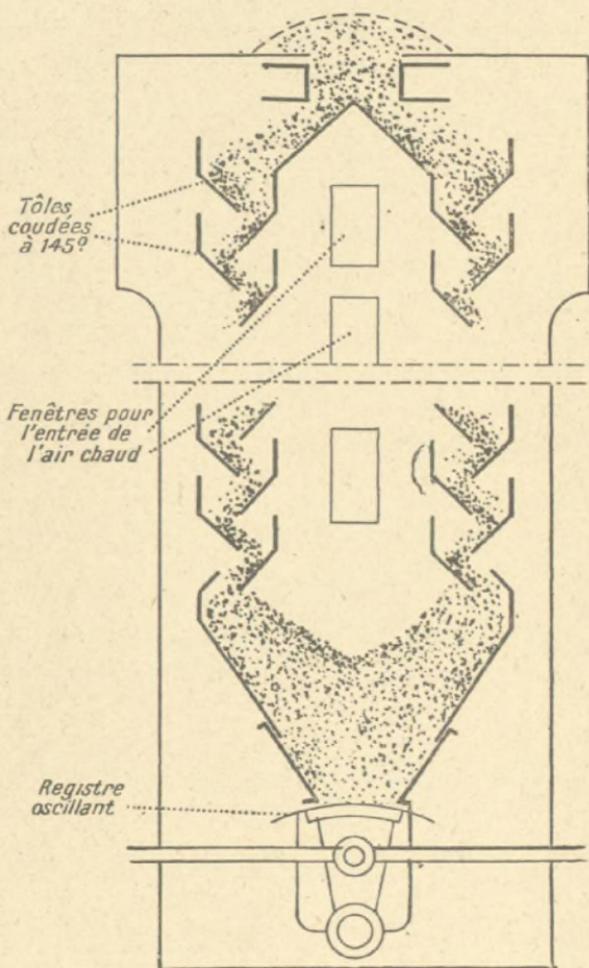


Fig. 21. — Élément dessiccateur Rowold.

coudées en chicanes (*fig. 21*). Le lignite, réparti entre ces deux rangées, s'éboule par suite du mouvement pendulaire

d'une tôle qui forme le plancher mobile de la chambre; à chaque oscillation, cette tôle laisse tomber une certaine quantité de lignite qui provoque un éboulement. Les parois extrêmes ont des fenêtres pour l'air chaud, qui arrive entre les deux rangées de tôles et ne peut s'échapper qu'en traversant le lignite, lequel doit être en grains, sans poussier et peu bitumineux. Le vent, obtenu par compression, est chauffé à son passage dans une chaudière tubulaire dont les tubes sont parcourus par la vapeur d'échappement de toutes les machines de l'usine; il sort à 80°, sous une pression de 7<sup>mm</sup> et circule dans des collecteurs latéraux qui desservent plusieurs dessiccateurs, puis se divise dans des conduites verticales devant chaque élément analogue à celui que nous avons décrit. Il y a ainsi 66 à 68 éléments semblables écartés de 50 à 60<sup>cm</sup> et présentant chacun les dimensions suivantes :

Longueur.....	3 <sup>m</sup> ,50 à 3 <sup>m</sup> ,75
Largeur.....	0 <sup>m</sup> ,40 à 0 <sup>m</sup> ,50
Hauteur utile.....	3 <sup>m</sup> ,5

Nombre de tôles coudées à 145° :

$$4 \times 20 = 80 \quad \text{à} \quad 4 \times 25 = 100.$$

Vingt éléments alimentent une presse qui fournit 40 tonnes de briquettes *doof*, lesquelles conservent leur forme et donnent une braise qui sert à garnir certains ustensiles tels que réchauds, chauffe-pieds, etc.

A la sortie du dessiccateur, l'air est chargé de vapeur et de poussier, on récupère une partie de ce dernier dans la *chambre de dépoussiérage*, mais *une quantité considérable de chaleur se trouve perdue*.

Les dessiccateurs à vapeur, moins dangereux, utilisent directement les vapeurs d'échappement sans passer par l'intermédiaire de l'air chaud; leur rendement est meilleur.

**Emploi de la vapeur d'échappement.** — Dans les fabriques de briquettes, qui possèdent une grande centrale électrique distribuant la force à toute l'installation (sauf les presses) on se sert uniquement de la vapeur d'échappement des machines. C'est le procédé qui donne le maximum d'économies.

Mais la pression reste assez basse ( $3^{\text{kg}}$ ), l'on ne pourrait, en effet, élever la pression d'échappement de la vapeur des presses sans diminuer le rendement de ces machines.

L'économie que l'on pourrait réaliser en employant de la vapeur surchauffée ne compenserait pas les frais supplémentaires d'installation.

Supposons de la vapeur d'échappement à  $2^{\text{kg}}$  de pression (pression absolue :  $3^{\text{kg}}$ ). Sa température est de  $132^{\circ},8$ , surchauffons-la à  $250^{\circ}$ . Sa chaleur totale est de  $0^{\text{cal}},48$  plus grande que la chaleur spécifique de la vapeur saturée. D'ailleurs la vapeur saturée cède plus de chaleur que la vapeur sèche.

L'économie est de

$$(250 - 132,8)0,48 = 56 \text{ cal-kg};$$

soit 8,7 pour 100 de la chaleur totale de la vapeur non surchauffée (647 calories), économie hors de proportion avec les frais d'installations supplémentaires.

La vapeur d'échauffement doit être soigneusement déshuilée avant d'aller dans les appareils chauffeurs, car autrement l'huile se déposerait sur les parois et diminuerait beaucoup le rendement de ces appareils.

**Dessiccateurs à plateaux.** — Ils sont construits par la Zeiter (succursale à Cologne-Chrenfeld) et par la Maschinen Fabrik Buckau.

Ce sont des plateaux superposés dans lesquels circule la vapeur et entre lesquels le lignite est entraîné par des râtaeux portés par des bras fixés à un arbre tournant vertical.

Les râteaux sont orientés obliquement, de sorte que le lignite circule en spirale jusqu'à des orifices placés, au centre dans un plateau, à la périphérie dans le plateau suivant où l'orientation des râteaux est inverse. Ainsi le lignite circule toujours sur la paroi supérieure des plateaux tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, et se dessèche progressivement pendant sa descente.

Deux colonnes verticales distribuent la vapeur aux plateaux et deux autres colonnes recueillent l'eau de condensation.

Voici les caractéristiques habituelles de ces appareils :

*Plateaux.* — Nombre, 20 à 32; espacement 20 à 25<sup>cm</sup>.

Diamètre : extérieur, 3<sup>m</sup>,8 à 5<sup>m</sup>; intérieur, 1<sup>m</sup>,2 à 2<sup>m</sup>.

Épaisseur des parois, 5 à 7<sup>mm</sup> (les parois supérieures, soumises au frottement, sont plus épaisses).

Orifices : vers l'intérieur,  $2 \times 4 = 8$ ; vers l'extérieur,  $3 \times 4 = 12$  (chacun de 130<sup>cm</sup><sup>2</sup>).

Surface de chauffe (on ne considère que la paroi supérieure) :

$$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2),$$

par exemple

$$\frac{3,14}{4}(25 - 2,25) = 17^{\text{m}^2},88,$$

dont il faut déduire 10 orifices en moyenne :

$$17,88 - 0,013 \times 10 = 17^{\text{m}^2},75,$$

c'est-à-dire 426<sup>m</sup><sup>2</sup> pour 24 plateaux, 568<sup>m</sup><sup>2</sup> pour 32 plateaux.

Hauteur de chute du lignite (épaisseur d'un plateau augmentée de l'écartement entre plateaux) 25 à 30<sup>cm</sup>.

Énergie nécessaire : 5 à 6 CV (arbre, plateau crible et broyeur).

Débit : 5 kg de lignite desséché par heure et par mètre carré de surface utile, soit 70 tonnes de lignite sec par 24 heures dans un appareil à 32 plateaux.

La pression de la vapeur dans les plateaux doit être de 2 à 3<sup>atm</sup>; au-dessous, il y aurait trop de condensations.

**Chauffage des plateaux.** — Les plateaux sont constitués chacun par quatre secteurs interchangeables fixés les uns contre les autres.

Les diamètres intérieur et extérieur des plateaux atteignent 5 et 2<sup>m</sup>.

Chaque secteur comporte une plaque supérieure assez forte et une plaque inférieure moins robuste (10 et 8<sup>mm</sup> d'épaisseur) en fer soudé. Ces plaques sont fixées l'une sur l'autre à leur périphérie par une couronne en fonte interposée entre elles, et par des rivets avec bagues de renforcement. Les têtes des rivets sont fraisées à la partie supérieure qui présente ainsi une surface parfaitement lisse. Le rivetage est particulièrement soigné au point de vue étanchéité. Sur la périphérie extérieure de la couronne de fonte est rivée une cornière destinée à empêcher le lignite de tomber.

La paroi extérieure de la couronne de fonte est percée de trous pour l'admission de la vapeur; d'autres orifices évacuent l'eau de condensation mélangée à une certaine quantité de vapeur.

Deux colonnes amènent la vapeur dans les quatre secteurs, tandis que l'eau de condensation et la vapeur épuisée sortent par deux autres colonnes. Le lignite, partiellement desséché, sort par des échancrures, tantôt situées à la partie intérieure et tantôt à la partie extérieure de chaque secteur.

Les plateaux présentent ainsi, quand le lignite sort par la partie intérieure,  $2 \times 4 = 8$  échancrures et  $3 \times 4 = 12$  quand le lignite sort vers l'extérieur.

Les plateaux sont généralement écartés les uns des autres de 20<sup>cm</sup>. Leur nombre, suivant la teneur en eau du lignite à sécher et la pression de la vapeur, varie de 20 à 32 (y compris

le plateau-crible non chauffable dont nous parlerons plus loin.

Il est bon, quand on sèche le lignite extrait à ciel ouvert, de calculer très largement le nombre des plateaux : il suffira de mettre hors de la vapeur les plateaux inférieurs en fermant le robinet d'amenée, les jours où le lignite sera plus sec.

A la base du sécheur on met en général des plateaux non chauffés, en tôle, qui ont pour but de refroidir partiellement le lignite.

L'arbre vertical fait 3 à 4 tours à la minute. L'agitateur est muni de palettes qui sont orientées de façon à amener le charbon à l'intérieur ou à l'extérieur. Il y a 9 à 10 palettes par bras de l'agitateur pour les plateaux supérieurs et leur nombre atteint 15 à 16 pour les plateaux inférieurs. Il arrive que le lignite présente des grains trop gros et durs, et c'est pour cela qu'on place généralement en dessous du neuvième plateau un plateau-crible non chauffé. Les grains trop gros sont broyés par des galets et la poudre de lignite, passant à travers les trous du plateau-crible, descend vers les plateaux inférieurs.

A la partie inférieure de l'appareil se trouve un grand pignon denté et un engrenage à friction qui servent à la commande. Un jeu de poulies de différents diamètres règle la vitesse de l'appareil.

On devra se munir d'un moteur électrique pouvant supporter des à-coups de 20 chevaux, mais, en général, il faut compter une puissance de 9 à 10 chevaux pour un séchoir de 32 plateaux et 1 plateau-crible.

Le rendement dans ces appareils est de 130<sup>kg</sup> de lignite en 24 heures par mètre carré de surface de chauffe.

La chaleur est cédée surtout par la paroi supérieure en contact avec le lignite refroidi par l'évaporation de son eau, l'eau de condensation qui baigne la partie inférieure des plateaux empêche la transmission de chaleur

par rayonnement vers le bas, on ne peut d'ailleurs diminuer beaucoup l'écartement des plateaux à cause de la place nécessaire aux bras mobiles et aux râteaux. Il n'y a pas avantage à surchauffer la vapeur, c'est la vapeur saturée qui cède le plus de chaleur. L'eau condensée s'écoule dans les colonnes, à moins que l'on aménage des condenseurs fonctionnant à la pression des plateaux et fournissant de l'eau chaude qui est utilisée pour l'alimentation des chaudières, ce qui procure une économie.

Quant à la vapeur dégagée par le lignite, elle est aspirée et remplacée par de l'air sec. On emploie par dessiccateur une cheminée centrale ou latérale avec laquelle communiquent tous les intervalles des plateaux. Le tirage doit être réglé; s'il était trop fort, on perdrait de la chaleur et du poussier.

**Bilan thermique.** — La chaleur de condensation de la vapeur est absorbée :

- 1<sup>o</sup> Par l'eau vaporisée du lignite (chaleur utile);
- 2<sup>o</sup> Par le chauffage du lignite séché et de l'eau restante;
- 3<sup>o</sup> Par le chauffage de l'air qui traverse l'appareil;
- 4<sup>o</sup> Par le chauffage du poussier emporté;
- 5<sup>o</sup> Par les pertes de conductibilité et de rayonnement.

*Données* (1). — Dessiccateurs produisant 2<sup>t</sup>,262 par heure.  
Température : intérieure, 57<sup>o</sup>; ambiante, 20<sup>o</sup>; lignite frais, 16<sup>o</sup>.

Hygrométrie des gaz sortants : 72 pour 100.

Pertes en poussier : 6 pour 100.

*Chaleur utile.* — Par kilogramme d'eau, la chaleur totale

---

(1) Nous avons pris ces chiffres et une série d'indications utiles dans les remarquables études sur les lignites rhénans de M. Frézouls, ingénieur civil des Mines.

de vaporisation à 57° est

$$606,5 + 0,305 t = 623^{\text{cal}}, 885,$$

d'où il faut déduire la chaleur propre de l'eau à 16° :

$$t + 2 \times 10^{-2} t^2 + 3 \times 10^{-7} t^3 = 16^{\text{cal}}, 006.$$

La chaleur nécessaire à l'évaporation de 1 kg d'eau est donc

$$623,875 - 16,006 = 607^{\text{cal}}, 879.$$

On trouve que pour avoir 2262 kg de lignite à 15 pour 100 (340 kg d'eau), il faut traiter 5113 kg de lignite à 60 pour 100 (3068 kg d'eau).

Le poids de l'eau à évaporer est donc :

$$3068 - 340 = 2728,$$

soit

$$607,879 \times 2728 = 1653\ 294^{\text{cal}} \text{ à enlever.}$$

*Chaleur retenue par le lignite.* — a. Les 0,85 des 2262 kg de lignite, chauffés de 16° à 57°, retiennent (chaleur spécifique : 0,2031)

$$2262 \times 0,85 \times 0,2031 (57 - 16) = 16005^{\text{cal}}.$$

b. L'application de la formule de Regnault aux 340 kg d'eau échauffés de 16° à 57° donne 13 979 cal.

Soit au total :

$$16005 + 13\ 979 = 29984^{\text{cal}}.$$

*Chaleur emportée par l'air.* — Nous supposons que l'air introduit à 20° sort du four avec une teneur en eau égale à 72 pour 100 de la teneur de saturation à la température de 57° (il ne faut pas approcher trop du point de saturation pour éviter des condensations d'eau sur le lignite).

L'air introduit est lui-même à un degré hygrométrique variable suivant la région, la saison et surtout la température (en Rhénanie la moyenne de température est 9° et l'état hygrométrique 75 pour 100).

La tension  $h_1$  de la vapeur dans l'air à  $H$  pour 100 est

$$h_1 = 0,01 H h;$$

$h$ , tension de vapeur dans l'air saturé à la même température, donnée par les Tables de Regnault.

La densité de la vapeur étant 0,622, il est facile de calculer le poids  $P$  de vapeur contenu dans  $1\text{ m}^3$  d'air :

$$\frac{h_1}{1 + \alpha t} = 0,76 \frac{P}{0,622 \times 1,293} \quad (\text{équation de Gay-Lussac}),$$

$$P = 1,05 \frac{h_1}{1 + 0,00367 t} = 1,05 \frac{H h}{100 + 0,367 t}.$$

Ainsi, la quantité d'eau que pourrait emporter, au maximum, un air à  $H_1$  pour 100 serait donnée en remplaçant  $H$  par 100 —  $H_1$  dans l'équation précédente; par exemple, la quantité d'eau que pourrait emporter  $1\text{ m}^3$  d'air à  $20^\circ$  et 55 pour 100 serait

$$P = \frac{1,05 \times 45 \times 0,0174}{107,39} = 0^{\text{kg}},00765,$$

c'est-à-dire que pour dessécher de 60 à 15 pour 100 d'humidité, une tonne de lignite, soit pour évaporer  $529\text{ kg}$  d'eau, il faut, au *minimum*,

$$\frac{529}{0,00765} = 69\,150\text{ m}^3 \text{ d'air.}$$

Un mètre cube d'air à  $9^\circ$  et 75 pour 100 (moyenne en Rhénanie) contient :

$$P = \frac{1,05 \times 75 \times 0,0086}{100 + 0,367 \times 9} = 0^{\text{kg}},00655,$$

$0^{\text{cm}},86$  étant la tension de vapeur saturée à  $9^\circ$ . L'air s'échauffant jusqu'à  $57^\circ$  aura pour volume :

$$V = \frac{273 + 57}{273 + 9} = 1^{\text{m}^3},17,$$

et contiendra à sa sortie, si son degré hygrométrique est 72,

$$P = 1,17 \frac{1,05 \times 72 \times 0,1293}{100 + 0,367 \times 57} = 0^{\text{kg}},09457;$$

il aura donc enlevé au lignite

$$0,09457 - 0,00655 = 0^{\text{kg}},08802.$$

Pour emporter 2728<sup>kg</sup> d'eau, il faut donc par heure :

$$\frac{2728}{0,08802} = 30\,992^{\text{m}^3} \text{ d'air à } 9^{\circ},$$

dont le poids sera

$$1293 \times 30\,992 \times \frac{273}{282},$$

quantité qu'il faut multiplier par 57 — 20 = 37, élévation de température, et par 0,2375, chaleur spécifique de l'air sec, pour avoir la chaleur à fournir à cet air, ce qui donne 340 900<sup>cal</sup> auxquelles il faut ajouter la chaleur nécessaire pour porter de 20 à 57° l'eau qu'il contenait à l'entrée, soit 6<sup>g</sup>,55 par mètre cube :

$$30\,992 \times 0,00655 \times 37 \times 0,5 = 3756.$$

La chaleur totale emportée par l'air est donc, par heure,

$$340\,900 + 3756 = 344\,656^{\text{cal}}.$$

*Chaleur emportée par la matière perdue* — On perd 307<sup>kg</sup> de matière contenant 15 pour 100 d'humidité, l'eau emporte

$$307 \times 0,15 \times 41,115 = 1893^{\text{cal}};$$

la matière sèche emporte

$$307 \times 0,85 \times 0,2031 \times 41 = 2173^{\text{cal}}.$$

Total :

$$1893 + 2173 = 4066^{\text{cal}}.$$

*Pertes par conductibilité et rayonnement.* — Un calcul

fait par la revue *Braunkole* (1907) sur les mêmes données a établi une perte horaire de 88 351<sup>cal</sup>.

*Résumé.* — En résumé, les 2 125 351 calories horaires que l'on trouve au total se décomposent comme suit :

	Pour 100.
1658 294 <sup>cal</sup> utilisées.....	78,1
29 984 <sup>cal</sup> emportées par le lignite.....	1,4
344 656 <sup>cal</sup> emportées par l'air.....	16,2
92 417 <sup>cal</sup> perdues.....	4,3

Si la chaleur résulte de la condensation de la vapeur à 2<sup>atm</sup>,5 (127°), la chaleur de condensation est 477,4 et la consommation de vapeur

$$2\ 125\ 351 : 477,4 = 4,451$$

de vapeur d'échappement de machines à l'heure.

Le calcul qui précède s'applique aussi aux dessiccateurs tubulaires, très en faveur actuellement.

**Dessiccateurs tubulaires.** — Ce sont des cylindres inclinés tournant lentement autour de leur axe. Le lignite chemine dans des tubes autour desquels circule la vapeur qui fournit la chaleur nécessaire à la dessiccation (*fig. 22*).

Un appareil de 7<sup>m</sup> de longueur et de 2<sup>m</sup>,40 à 2<sup>m</sup>,90 de diamètre contient 243 à 375 tubes de 95<sup>mm</sup>. L'épaisseur des tubes est de 3<sup>mm</sup>,5 et celle des parois de 10 à 12<sup>mm</sup>; l'axe du cylindre est incliné de 5 à 7°; une vis sans fin assure la rotation. Un cylindre de 366 tubes et de 7<sup>m</sup> de long a 760<sup>m<sup>2</sup></sup> de surface utile et produit 70 tonnes de lignite par 24 heures avec de la vapeur de 2<sup>atm</sup>,6 à 3<sup>atm</sup>,2.

Le cylindre tournant à 8 t:m, le lignite y séjourne de 25 à 30 minutes et passe de 60-58 à 11-16 pour 100 d'humidité.

La vapeur débouche dans l'axe du côté haut et se rend par des orifices qui existent du côté opposé dans l'espace

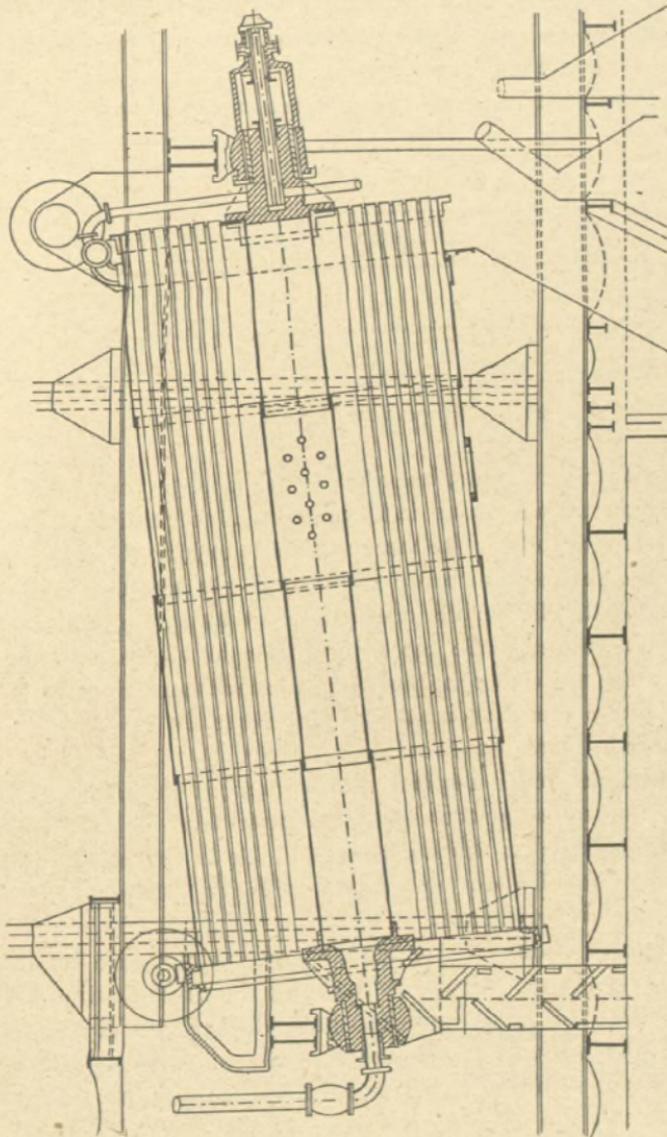


Fig. 22. — Dessiccateur tubulaire.

compris entre les tubes et le cylindre, la vapeur condensée ruisselle et se rend dans des récipients où elle est reprise pour servir d'eau d'alimentation.

Le dispositif *Mertens* (fig. 23) est combiné pour allonger

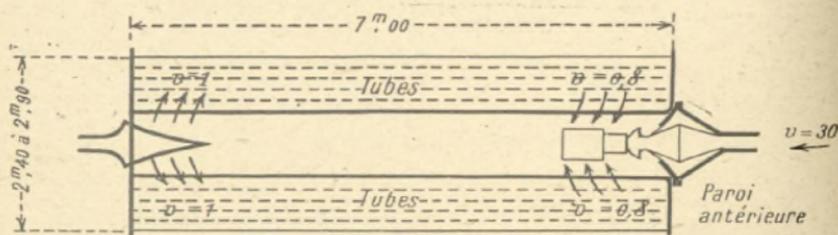


Fig. 23. — Schéma du dessiccateur Mertens.

le circuit de la vapeur, les orifices de passage sont localisés dans la partie inférieure de l'axe et un cône guide le courant en évitant des chocs; la vapeur circule le long des tubes en sens inverse du lignite, de  $1^m$  à  $0^m,8$  par seconde, vitesse avec laquelle elle arrive aux orifices de la partie supérieure à travers lesquels elle est aspirée par la vapeur nouvelle, grâce à des tuyères coniques fonctionnant comme injecteur. Ainsi, après chaque circuit, ce qui reste de la vapeur est réchauffé et remis en circulation.

La chaleur cédée dépend non seulement du trajet et de la vitesse, mais surtout de la température de la vapeur d'échappement; on ajoute, au besoin, de la vapeur produite spécialement afin de pousser la pression jusqu'à  $3^{atm}$  et même parfois au-dessus.

Le lignite tombe d'une trémie sur une glissoire inclinée couvrant le quart supérieur du fond avant du cylindre et comportant des tôles inclinées pour diriger ce qui s'éboule sur les tubes suivants. A *Liblar* (fig. 24), on utilise un rouleau « alimenteur » mû par le lignite lui-même et qui l'introduit en sens inverse de la rotation du cylindre; à *Furstenberg*, le lignite arrive sur une glissoire oscillante, reliée par courroie

à l'axe de rotation, et qui l'introduit dans les tubes; à *Wachtberg*, on utilise un distributeur à air comprimé dont la paroi comporte des orifices correspondant aux tubes :

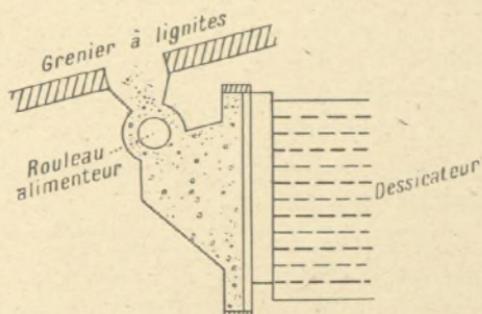


Fig. 24. — Alimentation des tubes à Liblar.

quand un tube arrive devant un orifice l'air comprimé souffle le lignite dans le tube.

L'entrée des tubes est en forme de cône percé dans la paroi qui recouvre d'ailleurs l'extrémité des tubes (*fig. 25*)

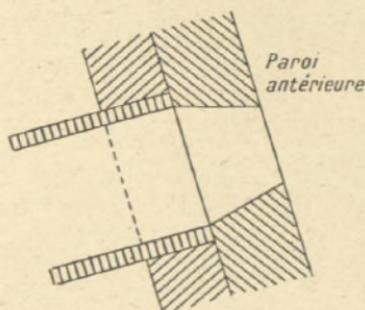


Fig. 25. — Assemblage des tubes à l'avant.

de sorte qu'il n'y a aucun choc entre les glissoires comme cela pourrait se produire si les tubes allaient jusqu'à l'extérieur.

L'air nécessaire à l'entraînement de la vapeur d'eau limite le remplissage des tubes.

Les particules de lignite, entraînées par la rotation du cylindre, décrivent des hélicoïdes, mais le frottement sur parois est parfois insuffisant et le lignite retombe à la partie inférieure de chaque tube, de sorte que c'est toujours la même masse qui est chauffée. Les *Wendeleisten* évitent cet inconvénient; ce sont des fers plats, légers, réunis par des pièces formant ressort alternativement dans un sens et dans l'autre; introduits dans les tubes, ils empêchent le lignite de glisser contre la paroi. On emploie aussi des garnitures hélicoïdales.

L'eau de condensation tend à se rassembler à la partie basse; le pourtour de cette partie est munie de cinq boîtes à vapeur (fig. 26 et 27) qui recueillent le mélange d'eau et

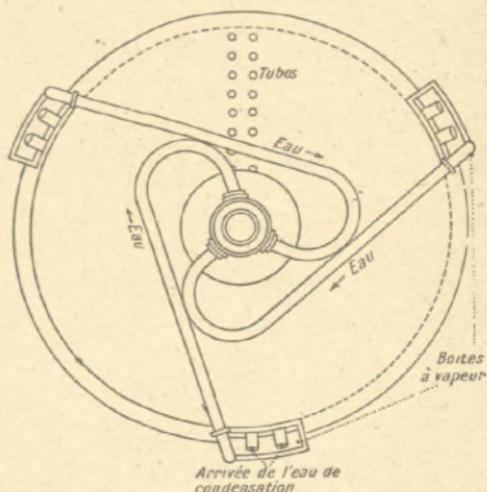


Fig. 26. — Extrémité postérieure d'un dessiccateur.

de vapeur pour l'amener par des tubes dont la forme rappelle celle d'une spirale dans la canalisation de sortie située dans l'axe même de l'appareil, d'où il gagne les condenseurs

pour être réintégré dans l'eau d'alimentation des chaudières.

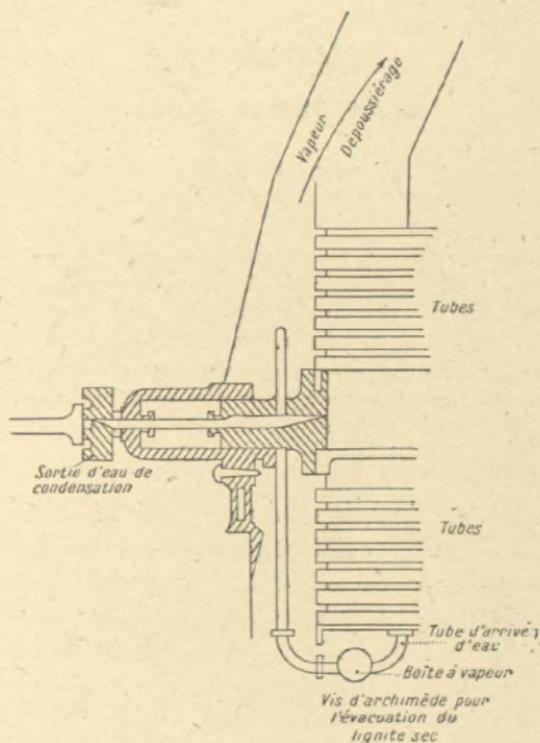


Fig. 27. — Extrémité postérieure d'un dessiccateur.

Quant au lignite desséché, il tombe dans une rigole où une vis d'Archimède l'entraîne vers les refroidisseurs avant briquetage.



---

## CHAPITRE VIII.

### BRIQUETAGE DU LIGNITE.

---

SOMMAIRE. — Avantages. — Pouvoir agglomérant. — Préparation mécanique : grilles, cribles, courroies transporteuses. — Préparation du lignite desséché : Broyage et refroidissement. Transports. Presse. Machines. Tête et distributeur. Forme. Tampon. Formation des briquettes. — Lutte contre les poussières : dessiccateurs, presses, gaz et vapeurs. — L'usine à briquettes de Liblar : Criblage. Concassage et séchage. Briquetage. Chaufferie et centrale électrique. Utilisation du lignite extrait.

**Avantages.** — Le briquetage du lignite brut est effectué sur une grande échelle en Rhénanie, où les lignites se prêtent admirablement à cette opération d'agglomération qui double à peu près le pouvoir calorifique du lignite brut <sup>(1)</sup>.

On expulse les huit-dixièmes de l'humidité du combustible qu'on pulvérise et agglomère ensuite sous pression.

Les opérations comportent une préparation mécanique (*Nassdienst*), puis le *Trockendienst* ou travail du lignite séché, le dernier comprenant lui-même trois phases : la dessiccation pyrogénée, une seconde préparation mécanique avec refroidissement s'il y a lieu, enfin l'agglomération elle-même.

Certains lignites s'agglomèrent en effet sans aucun liant sous forme de briquettes plus faciles à transporter que le lignite séché, pulvérulent et inflammable et plus avan-

---

(1) M. Douat, ingénieur en chef des Mines, a communiqué au Congrès du Chauffage industriel de 1923 des résultats intéressants sur l'auto-agglomération des lignites français.

tageuses que le lignite brut tenant 60 pour 100 d'humidité; les lignites non agglomérables ne peuvent s'écouler que dans une zone restreinte autour de la mine si l'on ne veut les carboniser ou les gazéifier.

POUVOIR AGGLOMÉRANT. — On ne sait pas exactement, même en Allemagne où les expériences ne manquent pas, quels sont les principaux facteurs de la cohésion du produit.

On a prétendu qu'il fallait de 4 à 10 pour 100 de bitume qui, fondant pendant la compression et préservé de la décomposition par les vapeurs d'eau provenant de l'humidité résiduaire, prendrait la forme du moule et contribuerait au durcissement de la briquette; la dessiccation préalable doit donc être conduite suivant la teneur en bitume : s'il y en a peu, il faut plus d'eau pour absorber la chaleur dégagée pendant la compression et empêcher la décomposition de la quantité de bitume indispensable à l'opération.

Mais on a fabriqué des briquettes acceptables avec des lignites à 1 pour 100 de bitume; on a réussi à obtenir des briquettes solides en comprimant à froid et lentement du lignite desséché dans une presse à vis où le bitume ne fond pas; on peut même lessiver le lignite desséché dans du benzol qui prend le bitume sans empêcher le briquetage. Le rôle du bitume semble donc exagéré; il fond cependant sur les parties latérales soumises au frottement énergique des parois échauffées de la presse et constitue une sorte de vernis ou glaçure de bon aspect, susceptible de protéger la briquette contre les intempéries et très importante pour la vente.

Pratiquement, avec des teneurs en bitume de 1 à 15 pour 100, les lignites humides de 50 à 62 pour 100 de la Rhénanie s'agglomèrent bien tant qu'on ne pousse la dessiccation que jusqu'à 15 pour 100. Dans les lignites très bitumineux, on peut pousser le séchage jusqu'à 8 pour 100 seulement d'humidité.

Un autre facteur limite la cohésion : *la teneur en cendres* qui ne doit pas dépasser 8 pour 100. Ces cendres comprennent du sable, visible sur la cassure en points blancs, et de l'argile qui donne une teinte jaunâtre; la présence du gypse et du sulfate de magnésie empêche de pousser la dessiccation, les sels en question, hygrométriques, absorbant de nouveau l'humidité qui délite les briquettes, d'où l'intérêt du glaçage.

Le degré de pulvérisation joue dans la cohésion un rôle important; il faut obtenir un rapport entre les morceaux et le poussier, de sorte que ce dernier comble les intervalles, et il est nécessaire qu'il soit assez plastique pour venir prendre sa place.

La pression, la vitesse avec laquelle elle est appliquée ont une action marquée sur la cohésion, une compression brutale détermine des plans de moindre résistance. Le combustible doit, en tout cas, subir une préparation préalable.

#### PRÉPARATION MÉCANIQUE.

Les wagonnets, libérés de leur chaîne relevée par des rouleaux, se rendent à des basculeurs du type *Kreiselwipper*. Le wagonnet, arrêté par des taquets au bas de la pente, est saisi par un cadre qui l'oblige à tourner complètement autour d'un axe parallèle aux rails. Il existe des basculeurs doubles avec galets qui ralentissent d'abord le versement, puis le mouvement est de nouveau accéléré dès qu'un wagonnet plein vient s'engager dans l'appareil.

Les berlines venant par câble aérien, débranchées, roulent sur un rail et basculent au-dessus d'une trémie.

Dans les usines qui vendent du lignite brut, on classe à part les gros morceaux dans des trémies destinées au chargement des expéditions, une autre partie alimente les chaudières, le reste est envoyé au briquetage (*fig. 28*).

Dans les autres usines, la trémie de réception comprend une grille à barreaux espacés de 18 à 20<sup>m</sup> qui retient des troncs d'arbres qu'on enlève et des gros morceaux que l'on casse sur place. Des rouleaux côtelés entraînent les

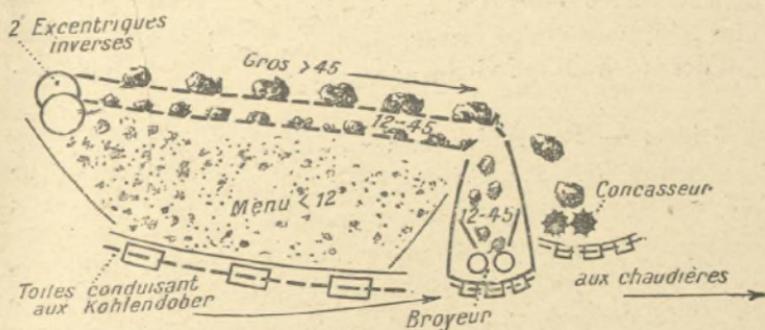


Fig. 28. — Schéma de la préparation mécanique du lignite.

morceaux sur des concasseurs cylindriques de 800 × 800<sup>mm</sup>, armés de dents en tronc de pyramide au-dessous desquels se trouvent des tamis à secousses qu'un excentrique ou une manivelle, qui fait 140 à 200 tours par minute, agit continuellement. Les mailles des deux premiers tiers supérieurs ont de 10 × 12 à 16<sup>mm</sup>, les autres 90 × 90<sup>mm</sup> au moins; ce qui tombe des petites mailles va directement à la dessiccation; ce qui passe dans les grandes mailles est repris dans un broyeur; ce qui ne tombe pas comprend des bûches qu'on enlève, et du gros que l'on concasse pour l'envoyer aux chaudières.

Les broyeurs sont, ou des cylindres lisses qui entraînent des pertes de poussier et qui sont arrêtés par la gelée, ou des appareils centrifuges Carr, plaques métalliques armées qui tournent en sens inverse (200 à 260 tours par minute) et qui permettent de traiter 700<sup>m</sup><sup>3</sup> en 10 heures avec une puissance de 50 CV. Les broyeurs Hoffmann à palettes déchiquètent mieux le lignite et le bois qu'il peut contenir,

mais peuvent être arrêtés lorsque le lignite, trop humide, colle aux parois.

Le lignite sortant du dernier broyeur est pris par une toile sans fin qui le conduit au-dessus des dessiccateurs (*Kohlenboden*) que nous avons étudiés, où il se mélange avec les menus passés dans les tamis précédents. Avant d'aller plus loin, nous allons donner quelques détails sur quelques-uns des appareils qui viennent d'être cités.

**Grilles.** — Les grilles fixes ne sont employées que pour les combustibles secs et durs, ceux qui collent aux barreaux doivent passer dans des grilles mobiles.

Les grilles *Briart* sont placées l'une au-dessous de l'autre et mues par deux excentriques inverses (*fig. 28*); l'une de 45<sup>mm</sup> retient le gros qui va au concasseur, puis aux chaudières; l'autre, de 12<sup>mm</sup>, retient le moyen qui va préalablement au broyeur et laisse passer le menu qui est conduit directement par une toile aux *Koklenboden*.

Les grilles *Borgmann* et *Emde* ont des barreaux oblongs qui tournent, de sorte que le grand axe de l'un d'eux est horizontal lorsque celui du voisin est vertical, les sections étant disposées afin que l'intervalle entre barreaux reste cependant constant, le mouvement des barreaux n'ayant pour effet que d'écouler le lignite. On se contente parfois de barreaux portant des côtes en forme de triangles curvilignes (*grille Suski*).

**Cribles.** — Les trommels sont peu employés parce que leur surface n'est pas utilisée entièrement à chaque instant. Les tables à secousses (*fig. 29*) ont aussi des défauts; la surface des mailles doit augmenter pour un même calibrage si l'on veut accroître le débit; elles font trop de poussier.

Dans les calibreurs à mouvement circulaire continu, portés par une suspension pendulaire *Karlik* ou par des tiges articulées dans deux directions perpendiculaires

(Klönne), on fait moins de poussier parce qu'il y a moins de choes et l'on utilise mieux la surface des mailles parce que la vitesse des grains n'est pas en concordance avec celle du crible.

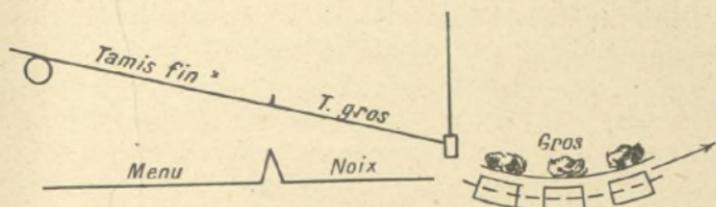


Fig. 29. — Table à secousses.

Le double crible plan de *Schwidtal* comprend deux cribles montés, le premier sur une articulation sphérique, le second sur une surface conique, articulations reliées par une tige portant elle-même une articulation sphérique en son milieu. Ces cribles, actionnés par deux excentriques à  $180^\circ$ , sont légers,  $1^t,2$  pour quatre appareils de  $2^m,88$  tournant à 125 tours par minute, considération qui a son importance si l'on songe que les cribles sont placés à la partie supérieure des bâtiments qu'ils peuvent soumettre à des vibrations dangereuses.

Le crible oscillant de *Kolde* (fig. 30) comprend trois

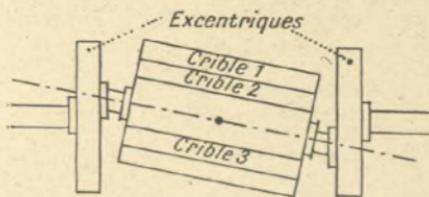


Fig. 30. — Crible Kolde.

cribles dans une caisse portée par une tige reliant deux excentriques et disposée de manière à couper l'axe horizontal des deux excentriques au centre de gravité de la caisse

qui reste ainsi immobile; le lignite s'y accumulerait si l'on ne plaçait pas, au voisinage de ce centre, une plaque lisse qui facilite le glissement des matières.

**Courroies transporteuses.** — En coton, ou en tissu caoutchouté vulcanisé, elles comportent trois cylindres porteurs dont les deux extrêmes sont inclinés (fig. 31) de façon à

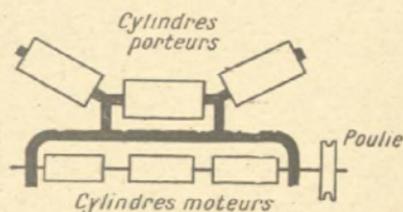


Fig. 31. — Courroie transporteuse.

constituer une concavité; le graissage des cylindres est indispensable à la durée de la toile. Des râteliers inclinés réglables permettent de déverser et de répartir le lignite dans plusieurs trémies, il suffit de disposer plusieurs râteliers à des hauteurs décroissantes. Ces courroies permettent des inclinaisons allant jusqu'à 30°.

#### PRÉPARATION DU LIGNITE DESSÉCHÉ.

**Broyage et refroidissement.** — Le lignite desséché ne peut être briqueté tel quel, parce que sa dessiccation n'est pas uniforme et surtout à cause des *dangers d'explosion* que présenterait la compression du lignite chaud.

Dans les dessiccateurs à plateaux, on se contente souvent de ne pas chauffer les trois plateaux inférieurs qui servent ainsi de refroidisseurs.

Dans les usines qui ont des dessiccateurs tubulaires, on emploie des *refroidisseurs à chicanes* analogues aux

séchoirs Rowold, mais dans lesquels il n'y a pas d'arrivée d'air chaud. La température du lignite s'y abaisse de 30°.

Le refroidissement doit être précédé d'un *broyage* qui égalise la dessiccation et enlève les copeaux de bois trop épais. Les dessiccateurs à plateaux comportent, à cet effet, des plateaux qui servent de cribles; le broyeur des autres dessiccateurs est formé de deux cylindres lisses, au-dessus desquels se trouve un *trommel*.

**Transports.** — Les transports se font généralement par vis d'Archimède agissant dans des canalisations *fermées* à cause du poussier et des dangers d'incendie. Lorsque la pente est supérieure à 30°, la vis calerait par suite du glissement du lignite et de l'obstruction des vides; il faut donc augmenter le développement des canalisations ou, si cela est impossible, se contenter de descentes tubulaires de 50° à 60°. Si l'on veut monter le lignite, on peut employer une chaîne à godets, mais il faut l'établir dans une sorte de cheminée assez haute pour que le poussier qui se dégage ne puisse s'enflammer au contact des étincelles des cheminées voisines; il suffit parfois du *frottement des godets sur les maçonneries* pour déterminer des étincelles et une explosion. On s'attache donc à éviter ce dispositif.

**Presse.** — Le piston est fixé sur une bielle de la machine motrice, laquelle tient à la *tête de presse*, bloc qui entoure la *forme* (*fig. 32*). Le lignite encore chaud (35°) est distribué devant chaque piston pendant le retour en arrière de cet organe pour être comprimé dans la course avant et poussé dans la forme, canal étroit à embouchure légèrement conique, dans lequel il est pressé contre le chapelet des briquettes déjà formées, lequel s'avance de la largeur d'une briquette à chaque coup de piston. Ce canal est assez long, de sorte que les briquettes qui tombent, une à une, à son extrémité soient déjà froides à ce moment.

**Machines.** — Les machines anciennes sont *monocylindriques* ( $400 \times 630$  à  $540 \times 800$ ) avec de lourds volants de 3 à  $4^m$  de diamètre. La différence de pression entre les deux faces du piston doit suffire pour éviter le calage de la machine au moment de la compression; aussi a-t-on porté de 5 à 8 puis à  $12^{atm}$  la pression de la vapeur dont la contre-pression est de  $1^{atm},5$  à  $2^{atm},5$ .

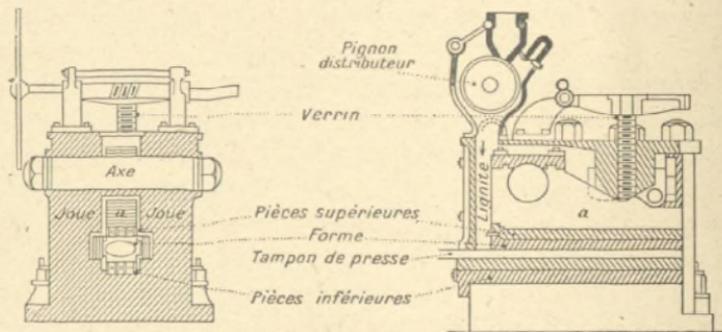


Fig. 32. — Tête de presse.

Dans les petites usines, un *registre* règle l'entrée de la vapeur qui reste constante; il en résulte une plus grande consommation, mais si l'on économisait la vapeur dans les cylindres, il faudrait produire de la vapeur pour les dessiccateurs. On n'emploie donc de machines perfectionnées que dans les usines pourvues d'une centrale de distribution d'énergie électrique, produisant assez de vapeur d'échappement pour le service des dessiccateurs. Le remplissage des cylindres est alors commandé par le régulateur et il y a deux cylindres.

Le régulateur *Rider* laisse la faculté de la commande à main et arrête automatiquement la machine en cas d'accident. L'obturateur de la conduite de vapeur est réglé par la tige du régulateur qui comporte un axe sur lequel est fixé l'encoche d'une autre tige pouvant être commandée à main pour fermer un second obturateur en cas de besoin, particulièrement lorsque le régulateur s'arrête.

La tige du piston de la presse et le piston de la presse sont refroidis par des jets d'eau.

Les machines font de 70 à 130 t:m et donnent une briquette de 500<sup>g</sup> par tour, soit 42 à 78 tonnes par journée de 20 heures. On ne peut augmenter la vitesse sans exagérer l'usure des formes et s'exposer à la rupture des bielles. Les presses doubles font 2 briquettes par tour, soit 160 briquettes par minute, mais leur action, trop brusque, nuit à l'agglomération et les briquettes sont fragiles. On fabrique cependant, de cette façon, des briquettes rondes destinées à l'industrie.

**Tête et distributeur.** — La tête ou bâti de la forme comprend deux joues taillées dans un seul bloc qui maintient une pièce en fer forgé pouvant tourner autour d'un axe dont la hauteur se règle au moyen d'un verrou.

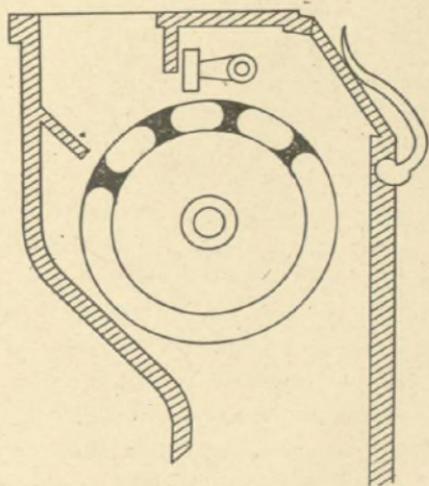


Fig. 33. — Distributeur Bernburger.

Le lignite tombe par un registre réglable sur un pignon distributeur à plusieurs vitesses qui alimente un canal vertical; le distributeur de la *Bernburger Maschinenfabrik*

(fig. 33) est côtelé, de sorte qu'il prend, entre deux côtes consécutives, juste la quantité de lignite nécessaire à la confection d'une briquette. Avec ce dispositif l'épaisseur des briquettes est indépendante de la vitesse de la machine; il faut changer le cylindre côtelé pour avoir une autre épaisseur. Avec les distributeurs lisses, la quantité de lignite admise varie peu avec la vitesse, et c'est le registre seulement qui permet de la régler.

**Forme.** — La forme est enchâssée dans quatre pièces maintenues par des boulons respectivement sur le bloc et sur la pièce supérieure.

Les pièces qui constituent la forme s'usent vite, *il faut les raboter tous les 14 jours* au moins et cette période s'abaisse à 2 jours lorsque le lignite est dur et contient du sable. Pour faciliter les démontages, on divise la forme en plusieurs pièces. A sa partie inférieure, une pièce dite « d'accès » *Führungsstück*, de 180<sup>mm</sup> environ, sur laquelle débouche le canal du lignite, est suivie d'une pièce « courte » de 260<sup>mm</sup>, puis d'une pièce longue de 700 à 750<sup>mm</sup>, soumise à des efforts considérables, et qu'on divise parfois en deux pièces; ces pièces sont en fonte aciérée ou en acier fondu; les pièces latérales en acier sont généralement d'une seule pièce, mais comme leur paroi s'use rapidement on la revêt parfois d'une tôle de 3 à 4<sup>mm</sup> fixée à des saillies spéciales.

Afin que la contre-pression du lignite équilibre l'action du piston, on donnait aux pièces de forme une *convergence* convenable; on préfère maintenant les laisser parallèles, mais on dispose, au commencement de la pièce longue, une *saillie* dont les dimensions dépendent du lignite; les lignites durs exigent une saillie moins épaisse mais plus longue.

Pour monter la forme, on place successivement les pièces inférieures, puis les pièces supérieures avec des coins de bois, enfin les pièces latérales. Les coins sont chassés par la pression des premières briquettes formées; on visse

alors le verin jusqu'à ce qu'on obtienne une compression qui doit varier d'après la nature du lignite.

**Tampon.** — Le tampon du piston de presse doit s'emboîter horizontalement et exactement dans la forme pour éviter des ruptures par choc et agglomérer tout le lignite. Ce tampon en fonte aciérée ou en acier fondu doit être plus long pour les briquettes d'appartement que pour les briquettes industrielles; sa course est à 180 à 220<sup>mm</sup>; il doit, à fond de course arrière, recouvrir encore de 40 à 45<sup>mm</sup> la pièce d'accès; à fond de course avant, il recouvre la pièce courte, de 66 à 70<sup>mm</sup> pour les briquettes domestiques, de 80<sup>mm</sup> pour les briquettes destinées à l'industrie.

**Formation des briquettes.** — Après cinq à six coups de tampon, une briquette en formation arrive à l'étranglement formé par la saillie où elle est fortement comprimée puis se détend, de sorte qu'après chaque passage de la saillie, c'est-à-dire à chaque coup de tampon, une briquette formée pousse la file des briquettes précédentes. La pression de la face du tampon atteint alors 1200 à 1500<sup>atm</sup>, mais peut être plus grande pour des lignites durs.

Au début, on imprègne d'huile minérale le lignite, ou bien on le malaxe avec du graphite, cela afin de favoriser le glissement, on évite de trop serrer le verin et l'on chauffe la forme et la tête, par les canaux ménagés dans ces pièces, à l'aide de la vapeur. Lorsque la tête de presse s'est échauffée par le frottement du lignite, on supprime la vapeur qu'on remplace ensuite par de l'eau froide afin de maintenir la température constante.

Si celle-ci s'élevait trop, les briquettes seraient fendillées et friables. Les lignites durs peu bitumineux nécessitent une compression énergique et sont plus fragiles. Une humidité constante est nécessaire; si la teneur en eau s'élève, les briquettes sortantes dégagent de la vapeur et peuvent même

se débiter en feuilles; si la teneur est insuffisante, la coloration devient plus claire, brun jaunâtre, les faces latérales n'ont plus d'éclat, elles s'effritent, la presse travaille lentement jusqu'à s'arrêter, parfois même l'augmentation de la résistance cause des *ruptures graves*.

Les briquettes d'appartement sont plus soignées, on s'arrange pour avoir un poids constant (de 420 à 460<sup>g</sup>). Pour les briquettes industrielles on emploie le format rond. La forme est telle qu'à chaque coup de piston, on obtient trois boulets soudés qui se séparent ensuite sous l'action des chocs provenant du chargement.

#### LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES.

Les poussières très légères qui se produisent pendant le traitement du lignite tendent à s'accumuler dans tous les coins où elles constituent un grave danger d'incendie et d'explosion.

a. **Dessiccateurs.**— On diminue la quantité de poussières à la sortie des dessiccateurs (3 pour 100) en diminuant la hauteur de chute. On adapte à l'extrémité des tubes des

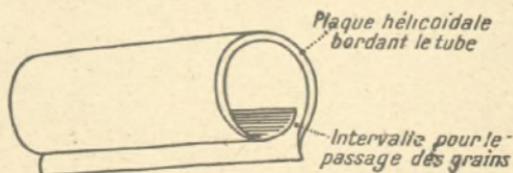


Fig. 34. — Capsule Færster.

séchoirs, des capsules qui ne laissent tomber le lignite que lorsque le tube est arrivé à la partie inférieure du cylindre (fig. 34), mais il faut éviter que le lignite sec s'accumule dans les interstices ou que les grains soient arrêtés par la

capsule et y séjournent. Pour réduire la hauteur de chute, on dispose, devant la demi-base inférieure du cylindre, des tôles (fig. 35) qui guident le lignite jusqu'à la vis transpor-

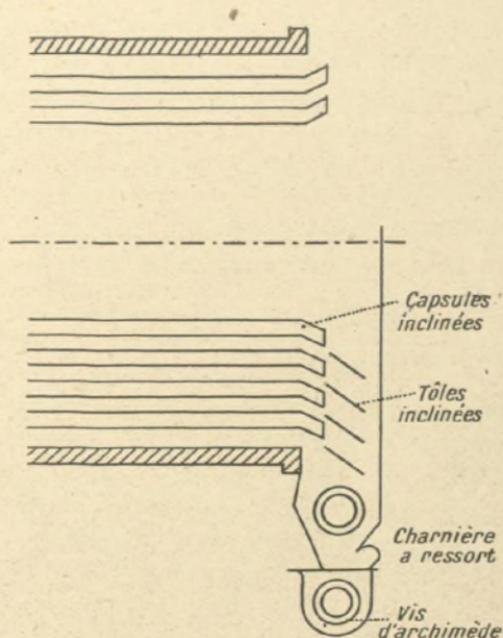


Fig. 35. — Dispositif pour diminuer la hauteur de chute.

teuse, laquelle est placée dans une canalisation fermée par un couvercle à ressort qui ne peut s'ouvrir que lorsque le poids de la matière accumulée est suffisant : le lignite tombe alors dans le canal et le couvercle se referme.

On a essayé d'introduire l'air dans les tubes par l'extrémité de sortie du lignite, afin de diminuer la perte en poussier en le collant sur le lignite encore humide; mais l'air, chargé de vapeur d'eau déjà refroidie, cédant au lignite frais une partie de son humidité, la dessiccation devient insuffisante.

Le même principe du *contre-courant*, appliqué aux dessiccateurs à plateaux, produit les mêmes inconvénients et l'on

ne peut lutter contre la poussière qu'en rapprochant autant qu'on le peut les plateaux entre eux et en disposant une glissoire à la sortie du dernier.

**b. Presses.** — Chaque coup de tampon laisse du poussier non aggloméré. Si l'on arrose, on perd la boue produite, soit 4<sup>hl</sup> par presse en 24 heures; on préfère généralement rassembler ce poussier et le renvoyer au distributeur de la presse au moyen d'un dispositif automatique spécial.

**c. Gaz et vapeurs.** — Les gaz et vapeurs dégagés des dessiccateurs (*fig. 36*) sont conduits à travers des chicanes

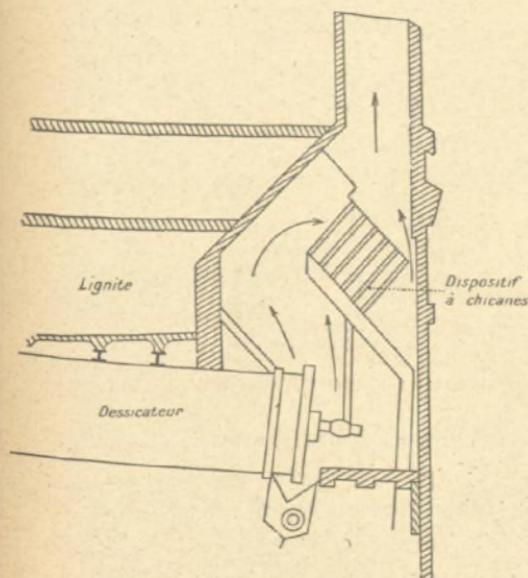


Fig. 36. — Dépoussiérage des gaz et vapeurs.

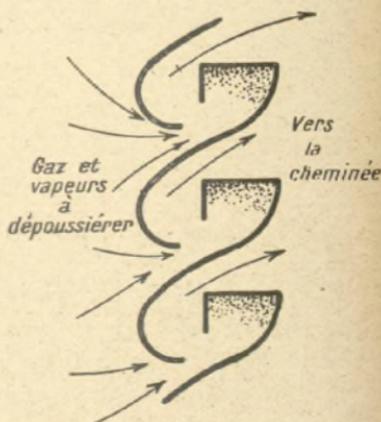


Fig. 37. — Chicanes de dépoussiérage.

(*fig. 37*) dont les recoins retiennent les poussières qui sont alors entraînées par un courant d'eau. L'eau filtrée est utilisée de nouveau et le lignite obtenu, dit « lignite de filtre », peut être vendu ou desséché pour l'agglomération.

## L'USINE A BRIQUETTES DE LIBLAR.

La disposition en étages de cette usine permet, grâce à une bonne répartition des appareils de transformation, une marche sans à-coups du lignite depuis son arrivée de la mine jusqu'aux hangars de stockage des briquettes fabriquées.

La description générale des ateliers principaux (criblage, concassage, séchage, presses, chaufferie et centrale électrique) sera donc un excellent résumé des considérations qui précèdent.

**1. Criblage.** — Par suite du mode d'extraction (grattage du front de taille par les chaînes à raclettes des excavateurs), le lignite contient une très forte proportion de fines; il existe cependant, dans les berlines, des morceaux qui atteignent la grosseur du poing et des troncs d'arbres détachés du front de taille.

Le premier criblage a pour but de séparer ces divers éléments; les fines utilisables dans les presses seront soumises à des opérations ultérieures, tandis que les gros morceaux sont envoyés par tapis roulants aux silos des chaudières à vapeur.

**2. Concassage et séchage.** — Les fines, séparées par criblage, passent dans des concasseurs à dents et à rouleaux, puis dans des désintégrateurs genre Karr qui les amènent au degré de finesse voulu pour le bon fonctionnement des séchoirs (les morceaux doivent avoir moins de 1<sup>cm</sup> de côté).

Les séchoirs, au nombre de 12, rangés en ligne, sont des cylindres rotatifs, légèrement inclinés (5° à 7°) de 2<sup>m</sup>,900 de diamètre et 8<sup>m</sup>,200 de longueur; ils sont traversés par 400 à 500 tubes d'acier de 94<sup>mm</sup> de diamètre, disposés

en huit cercles concentriques et dans lesquels passe le lignite pulvérisé.

Le séchage se fait par la vapeur d'échappement des presses dont la pression est de 3<sup>kg</sup>, correspondant à une température de 130° environ. Cette vapeur arrive dans l'axe des séchoirs par un tube central percé de trous, puis se répand à l'intérieur des cylindres. Le séchage se fait donc uniquement par rayonnement des tubes; il n'y a aucun contact entre le lignite et la vapeur.

Le lignite, pulvérisé et emmagasiné dans des silos que surmontent les séchoirs, tombe directement dans les tubes de ceux-ci. Il est repris de l'autre côté par des vis sans fin dans lesquels il se refroidit de 75° (température maxima atteinte dans les séchoirs) à 35 ou 40°.

Le lignite séjourne 20 minutes environ dans les dessiccateurs qui tournent à 5 tours par minute; on peut légèrement influencer sur les conditions du séchage, soit en faisant varier la pression d'admission de la vapeur, soit en faisant traverser les tubes à lignite d'un courant d'air frais par des ventilateurs.

L'eau condensée, provenant de la vapeur de chauffage, est évacuée par des canalisations de forme appropriée. Celle qui s'échappe du lignite et qui est chargée de poussières est aspirée par un ventilateur qui la rejette à l'extérieur; l'axe de ce ventilateur est en réalité une crépine par laquelle tombe constamment un courant d'eau. Les poussières entraînées sont donc collectées par le ventilateur à l'état de *schlamms*, puis envoyées dans un conduit extérieur au bâtiment que l'on vide de temps en temps.

On évite l'inflammation des poussières ou plutôt on évite les gros accidents qui en résultent, en munissant les séchoirs et leurs silos de cheminées d'explosion. De cette manière la déflagration n'atteint pas les divers appareils et l'accident reste localisé.

Cette question d'inflammation spontanée des poussières

et des explosions qui en résultent dans certains cas a vivement préoccupé les ingénieurs qui ont construit l'usine. Toutes les précautions sont prises pour retirer des différents appareils les poussières qui s'y déposent continuellement et pour les rendre inoffensives en les humectant d'eau et en les transportant à l'extérieur des bâtiments.

**3. Briquetage.** — A la sortir des vis refroidisseuses, munies elles aussi d'un système de dépoussiérage, le lignite séché à 16-18 pour 100 d'eau tombe dans les silos des presses.

Celles-ci tournent à une vitesse de 75 à 120 tours à la minute; elles sont à moule ouvert et la compression s'effectue entre le piston de la machine et la briquette précédemment fabriquée; les briquettes sortent en effet en chapelet et sont conduites, au stockage ou dans les wagons, par des couloirs de 50<sup>m</sup> de longueur où elles se refroidissent.

L'installation comporte 14 presses dont 4 doubles, c'est-à-dire munies de deux moules et deux couloirs de sortie.

Les presses marchent à 8<sup>kg</sup> de pression de vapeur saturée. La compression des briquettes se fait sous 1200<sup>kg</sup> environ et peut varier grâce au déplacement possible de la face supérieure du moule par rapport à la face inférieure.

La haute température dégagée pendant la compression provoque la fusion des matières bitumineuses extérieures et donne un glaçage aux briquettes produites.

La production d'une presse simple est de 60 tonnes de briquettes par jour; toutes les presses viennent de la Maschinen Fabrik Buckau A. G. de Magdebourg, qui est l'établissement le plus réputé pour la fabrication de ces appareils; il n'y a guère que la Zeitzer-Eisengiesser Maschinenbau A. G. à Zeitz qui puisse rivaliser avec cet établissement.

Les briquettes fabriquées sont de trois formats différents, dont voici les caractéristiques principales :

Format	Diamètre du cylindre à vapeur.	Courses du piston.	Nombre de tours par minute.
7.....	450	650	100-120
10.....	525	650	110
14.....	675	700	70-120

4. **Chaufferie et Centrale électrique.** — La chaufferie a pour but :

1<sup>o</sup> De fournir aux presses la quantité de vapeur nécessaire à la pression de 8<sup>kg</sup>; celle-ci échappe à 3<sup>kg</sup> et sert au séchage du lignite;

2<sup>o</sup> D'alimenter les machines motrices à vapeur.

La chaufferie comporte 22 chaudières dont 19 ont une surface de chauffe de 100<sup>m²</sup>, les trois autres une surface de 500<sup>m²</sup>.

Ces chaudières, timbrées à 12<sup>kg</sup>, sont *alimentées uniquement au lignite cru à 60 pour 100* d'eau provenant du refus des premiers cribles de l'installation. Les grilles de 8<sup>m²</sup> sont à gradins fixes. La conduite du feu est extrêmement facile, le décrassage insignifiant et la marche d'une grande régularité.

Chacune de ces chaudières consomme environ 30 tonnes de lignite cru et produit 2<sup>kg</sup>,5 de vapeur par kilogramme de lignite brûlé, ce qui est un excellent rendement, si l'on remarque que le combustible a un pouvoir calorifique d'à peine 2000 calories.

**Utilisation du lignite extrait.** — Des 4000 tonnes de lignite cru extraites par jour :

2000 tonnes passent aux *séchoirs*, où elles donnent 1000 tonnes à 18 pour 100 d'eau, transformées en briquettes dans les presses;

1000 tonnes, constituant les refus de criblage, sont brûlées dans la *chaufferie* et les services annexes ;

1000 tonnes sont vendues à l'état brut à des industriels de la région qui les brûlent sur des grilles analogues à celles utilisées dans la *chaufferie* de l'usine.

---

## CHAPITRE IX.

### TRAITEMENTS ANCIENS. PRODUITS DE LA CARBONISATION DES TOURBES.

---

SOMMAIRE. — Intérêt de cette étude rétrospective. — Premiers essais. — Carbonisation en vase clos. — Carbonisation continue de la tourbe. — Distillations à Weissenfels en 1860. — Goudron de tourbe. — Huiles essentielles. — Eaux ammoniacales. — Gaz de tourbe. — Alcool de tourbe. — Essence. — Huile lampante. — Huile lubrifiante. — Huiles basiques ou neutres. — Acide phénique. — Créosote. Paraffine. — Tableau des produits tirés de la tourbe. — Autres applications. — Séchage de la tourbe. — Carbonisation et distillation du lignite à Weissenfels et à Webar.

**Intérêt de cette étude rétrospective.** — Il n'est pas inutile de passer une revue rapide des traitements qui ont été essayés autrefois pour tirer le meilleur parti de combustibles imparfaits; c'est le meilleur moyen de ne pas retomber dans des errements fâcheux et de discerner, au moins, ce que l'on ne doit pas faire.

Le combustible que l'on a surtout cherché à transformer en un charbon convenable est *la tourbe*, ce qui s'explique par la grande abondance de ce produit, que l'on peut extraire facilement, débarrasser des corps étrangers et des principales impuretés qu'il contient, puis sécher à l'air; ce qui permet de porter son pouvoir calorifique de 700 à 2800, 3000 et même 4000 calories, suivant les procédés d'épuration et de compression employés, mais n'empêche ni la fumée, ni l'odeur désagréable qu'elle dégage.

**Premiers essais.** — La transformation de la tourbe en

charbon ou *carbonisation*, opération analogue à la fabrication du charbon de bois, est fort ancienne. Charles Patin critiquait, dès 1652, la méthode des boulangers hollandais qui, après avoir allumé convenablement la tourbe, la plaçaient dans des pots dont ils bouchaient toutes les entrées, carbonisation évidemment sommaire.

Plus tard on employa des cylindres de fonte superposés pour former un four de 4<sup>m</sup> de haut environ, fermé par un couvercle et muni à la partie inférieure d'une porte et d'une grille pour l'allumage des copeaux qui embrasaient la tourbe. On lutait alors hermétiquement la porte et tous les joints; puis à mesure que la tourbe s'affaissait à l'intérieur, on rechargeait, en lutant le couvercle après chaque charge. La carbonisation exigeait 12 heures, mais le défournement ne pouvait avoir lieu que 18 ou 20 heures après pour laisser refroidir le charbon.

Il est à noter, en effet, aussi bien pour le lignite que pour la tourbe, que, quel que soit le procédé de carbonisation, *il faut surveiller le défournement*, parce que le charbon pulvérulent ou poreux absorbe une énorme quantité d'air et la chaleur développée à ce moment peut être assez intense pour allumer spontanément le charbon. Nous avons vu un défournement précipité produire des flammes d'une quinzaine de mètres de hauteur.

Vers 1780, à Villeroy, on carbonisait la tourbe dans des cônes renversés de 1<sup>m</sup>,40 de hauteur, assez semblables à des fours à chaux, et qu'on bouchait hermétiquement après allumage : il fallait 8 à 10 jours pour fabriquer le coke de tourbe par ce procédé.

Le procédé des meules, imité de la carbonisation du bois, est mauvais à cause de l'affaissement des meules et des crevasses qui en résultent par lesquelles l'air s'introduit, brûle la tourbe, ne laissant à peu près que des cendres. On a employé aussi des meules en maçonnerie, procédé qui ne s'est jamais généralisé.

Dans la fabrique d'armes d'Obendorf, on employait vers 1870 un four cylindrique de 1<sup>m</sup>,80 de diamètre et de 3<sup>m</sup> de hauteur, terminé par une voûte sphérique et qui contenait 30<sup>m</sup><sup>3</sup> de tourbe, le tout maçonné avec interposition de sable pour éviter toute déperdition de calorique. Au-dessus de la sole, trois rangs de canons de vieux fusils servaient d'ouvreaux pour favoriser le tirage *au début* de l'opération. Le four était chargé par le haut en ayant soin de ménager un canal d'allumage. Dès que l'on s'apercevait, en regardant par les canons de fusils, que la tourbe était rouge et qu'il n'y avait plus de fumée, on fermait hermétiquement : six ou sept jours après on pouvait défourner.

A l'Exposition universelle de 1855, M. Moreau avait présenté un appareil, analogue au fourneau cylindrique en fonte que nous avons décrit, mais pourvu d'une cheminée centrale avec tuyaux horizontaux d'appel, de rigoles pour l'emboîtement des cylindres, l'un sur l'autre, et de deux grandes ouvertures à fermeture hydraulique pour charger la tourbe et donner accès à l'air au début de l'opération.

Le système de La Chabeaussière, employé en Angleterre, comprend des fosses légèrement coniques de 3<sup>m</sup> de profondeur et de 3<sup>m</sup> de diamètre. Huit cuvettes, disposées autour de la fosse, fournissent, par l'intermédiaire des tuyaux de poterie qui débouchent à la partie inférieure de cette fosse, l'air nécessaire au début. La fosse est fermée par un couvercle métallique solidement armé et muni d'ouvertures pour le passage des gaz que l'on peut aussi diriger dans une série de vases de condensation. Dans le remplissage, on a soin de ménager des canaux horizontaux partant des tuyères et convergeant à une cheminée verticale et centrale, faite à l'aide d'un pieu que l'on retire après l'empilage. C'est par cette cheminée que l'on allume. La carbonisation dure de 24 à 36 heures. On laisse refroidir le four et l'on défourne.

Tous ces procédés de carbonisation en meules ou dans

des fours à l'air libre *laissent perdre une grande partie des vapeurs*. Dans le dernier système décrit, on a recueilli jusqu'à 50 pour 100 de charbon, mais cette proportion descend à 25 pour 100 si la tourbe est de médiocre qualité.

Les procédés de carbonisation *mixte* qui consistent à carboniser, d'abord avec un léger excès d'air, puis à terminer la fabrication en vase clos, laissent aussi à désirer. Ils ont surtout le grand inconvénient de brûler la plus grande partie des produits de la distillation.

**Carbonisation en vase clos.** — La carbonisation en vase clos est une opération difficile à conduire. Si la température est trop élevée, on a beaucoup de cendres et peu de charbon; si elle est trop basse, l'opération dure trop longtemps et ne donne qu'un charbon incomplet. *In medio stat virtus.*

Des fours en maçonnerie ont donné d'assez bons résultats.

A Crouy-sur-Ourcq (Seine-et-Marne), on a employé un grand cylindre en maçonnerie chauffé extérieurement par des carneaux et un foyer circulaires. Un vide circulaire est rempli d'air stagnant pour éviter la déperdition de calorique. Les gaz et vapeurs, provenant de la distillation, se rendent par un tuyau dans un réservoir où se produit une condensation; les gaz sont ramenés dans le foyer. Par ce procédé qui dure 24 heures, pour 3<sup>m</sup><sup>3</sup>, on obtenait 35 à 40 pour 100 de charbon et l'on peut estimer à 30 pour 100 la dépense en tourbe ordinaire pour le chauffage. A la fin de l'opération, on tirait un registre inférieur et le coke descendait dans un étouffoir où il séjournait 24 heures. Ces fours étaient généralement disposés en batteries et adossés deux à deux.

Ensuite on a employé les cornues en fonte ou en terre réfractaire qui sont en usage dans les usines à gaz, cornues qui ont le plus souvent la forme d'un D renversé lorsqu'elles sont en terre réfractaire. On s'est bien vite aperçu qu'*il y avait avantage à ne pas mener trop vite l'opération* pour

obtenir une quantité suffisante de sous-produits. En réalité, dans ces appareils, on ne carbonise pas, on gazéifie. Par exemple, si l'on enlève la température au rouge sombre et qu'on la maintienne 5 ou 6 heures, il ne reste dans la cornue qu'un produit fixe appelé *coke de tourbe*, lequel, après refroidissement à l'abri de l'air et criblage, peut être classé en charbon, braisette, grenaille et poussier.

C'est ainsi, par exemple, que l'on distillait la tourbe, il y a 60 ans à *Weissenfels*, en Allemagne, lieu également célèbre pour le traitement des lignites.

On remplissait aux deux tiers, de tourbe sèche, des cornues horizontales en fonte de 2<sup>m</sup> à 2<sup>m</sup>,25 de longueur sur 40<sup>cm</sup> à 50<sup>cm</sup> de hauteur et 70<sup>cm</sup> de largeur. Un foyer unique chauffait trois cornues qui communiquaient à l'aide d'un tuyau de fer avec un cylindre de 60<sup>cm</sup> de diamètre où s'opérait la condensation. Nous examinerons plus loin les produits que l'on recueillait et qui ressemblent beaucoup à ceux qu'on peut tirer des lignites.

**Carbonisation continue de la tourbe.** — On voit que les appareils anciens reposaient sur l'un des deux principes suivants :

- 1<sup>o</sup> Carbonisation directe ou à feu intérieur;
- 2<sup>o</sup> Carbonisation en vase clos ou à feu externe.

Au début, on carbonise la tourbe comme le bois, puis on essaye des fours analogues à ceux employés pour le coke ou dans les usines à gaz.

La technique de l'opération est sans doute plus importante que l'appareil employé; il suffit que celui-ci permette de chauffer, torrifier, puis de carboniser, d'une *manière progressive*; le charbon doit être refroidi ensuite lentement à l'abri de l'air. M. Challeton de Brughat, vers 1860, avait déjà établi ces conditions, mais il ne semble pas que son appareil à carbonisation continue ait donné tous les bons résultats qu'on pouvait en espérer.

Le chauffage de cet appareil était assuré par le gaz qui se dégage pendant l'opération : une tonne de tourbe épurée et compacte donnait 286<sup>m</sup>3 de gaz. La chaleur perdue servait en outre à dessécher la tourbe, de même que la chaleur abandonnée par les masses de coke dans l'étouffoir servait à échauffer l'air avant son introduction dans le foyer. La carbonisation étant continue, l'appareil ne se refroidissait jamais et les gaz surabondants qu'il produisait pouvaient encore chauffer des appareils de récupération, les chaudières et éclairer l'usine : deux hommes suffisaient, paraît-il, pour carboniser 10 tonnes de tourbe par 24 heures. Cette opération donnait un charbon semblable à celui du bon charbon de bois et une grande quantité de sous-produits.

Les produits utilisables qui se dégagent pendant la carbonisation de la tourbe présentant une grande analogie avec ceux qu'on tire des lignites, nous allons passer rapidement en revue des résultats qui, *remontant à plus de soixante ans*, montrent qu'il est facile, même par des procédés rudimentaires, de tirer un excellent parti de mauvais combustibles. Il est bien entendu que les procédés perfectionnés que nous examinerons ensuite procurent davantage de produits intéressants plus purs avec moins de main-d'œuvre.

**Distillations à Weissenfels en 1860.** — Pour donner une idée de l'ancienneté de ces méthodes, nous avons pris nos renseignements dans les ouvrages de Challeton de Brughat (1861) et d'Ernest Bosc (1870), donnant tous deux à peu près les mêmes résultats confirmés à la dernière date par le docteur allemand Dallo dans le *Journal de l'éclairage au gaz*.

La distillation de la tourbe à Weissenfels [on y distillait aussi les lignites à cette époque (1)] s'opérait dans les cornues

---

(1) Voir à la fin du présent Chapitre les méthodes en usage vers 1892.

horizontales en fonte dont nous avons donné une description sommaire.

Le *goudron* condensé s'écoulait dans un bassin, d'où il était pompé et distribué dans de grands réservoirs en tôle à double enveloppe, servant à la circulation d'un courant de vapeur, maintenant, pendant 10 heures, une température modérée mais suffisante pour chasser la plus grande partie de l'eau contenue dans le goudron.

Le goudron de tourbe comme celui de lignite est en effet *très hydraté* le plus souvent, et sa distillation est facilitée lorsqu'on le débarrasse préalablement de son humidité.

Privé d'eau, le goudron était alors introduit dans une cornue de distillation en fonte contenant une tonne; les caisses de condensation et l'appareil distillatoire étaient séparées par un mur de maçonnerie au travers duquel passait le chapiteau de l'alambic.

Les huiles obtenues avaient une odeur désagréable. On les purifiait par une solution de soude caustique; on les brassait dans l'eau chaude, enfin on les traitait par l'acide sulfurique, procédé d'épuration encore en usage.

La dernière opération était une *rectification* qui permettait d'obtenir, classées par densité, les essences, benzines, huiles photogènes analogues au pétrole, etc.

Les huiles à paraffine, cristallisant au bout de 18 jours, étaient alors décantées, les gâteaux de paraffine brute soumis à la presse hydraulique à froid, puis à chaud, étaient ainsi purgés de leurs hydrocarbures.

La paraffine, fondue avec 2 pour 100 d'acide sulfurique, puis filtrée au noir animal, était un peu jaunâtre, ferme; son point de fusion élevé, 50°, la rendait propre à la fabrication des bougies.

Voici comment à l'époque considérée, c'est-à-dire vers la fin du second Empire, on considérait et utilisait déjà les produits des tourbes.

**Goudron de tourbe.** — Le goudron de tourbe (*peat tar*) diffère du goudron de houille (*coal tar*) non seulement à cause de son odeur caractéristique, mais encore par sa composition.

Cependant, pour certains usages, les deux goudrons conviennent aussi bien : conservation des bois, préparation de l'aniline, fabrication d'agglomérés, etc.

On a fait également, avec le goudron de tourbe, un mélange de 100 parties de terre et de 2 pour 100 de goudron qui assainit le sol. On l'a employé dans la métallurgie de l'aluminium, de la façon suivante (procédé Fleury de Boston) :

On pétrit de l'argile et du goudron pour former des boulettes qu'on enferme dans des creusets plombaginéés assez solides pour résister à une pression de 2<sup>atm</sup>. Ces creusets étant portés au rouge cerise, on y refoule du gaz d'éclairage. Le carbure d'aluminium formé est fondu avec du zinc ; on a soin d'agiter le mélange de sorte que le zinc se volatilise facilement, entraînant le carbone et il ne reste plus que de l'aluminium presque pur. Le tout durant 5 à 6 heures pour convertir 60 à 70<sup>kg</sup> d'alumine en aluminium.

La meilleure utilisation du goudron est d'ailleurs la distillation qui donne des sous-produits intéressants, plus intéressants peut-être lorsqu'il s'agit de goudrons de tourbe ou de lignite, au lieu de goudron de houille.

Le goudron de houille contient, en effet, une forte proportion de brai, tandis que celui de tourbe renferme souvent 70 pour 100 d'huiles pour 30 pour 100 de brai seulement ; il est vrai qu'il faut préalablement le séparer de l'eau qu'il contient, opération qui doit être faite à la plus basse température possible afin de ne pas avoir d'entraînements goudronneux. Nous indiquons d'ailleurs plus loin un procédé de déshydratation extrêmement simple.

L'eau étant séparée, la distillation est facile de 155 à 300°. L'opération classique donne : tout d'abord des huiles légères, c'est-à-dire les essences ; puis les huiles dont on

retire l'acide phénique, la créosote et les bases colorantes; enfin des huiles qui ont un reflet verdâtre très prononcé. Ces dernières contiennent de la *paraffine* qui apparaît en quantité considérable mais mélangée à l'eupione lorsque la température atteint 290°. Arrivé à ce point, on ne renouvelle pas l'eau du serpentín afin que la température s'élève et que la paraffine conserve sa fluidité. On ne pousse pas l'opération jusqu'au brai sec; il reste donc un brai gras qui contient encore de 15 à 16 pour 100 de paraffine.

Voici ce que donnait autrefois, dans certains cas, la distillation de 100 parties de goudron privé d'eau :

Huile de benzine.....	11
Huile basique ou neutre.....	28
Huile à paraffine.....	42
Eaux ammoniacales.....	3
Charbon (graphite).....	12
Pertes.....	4

Les huiles de tourbe sont difficiles à clarifier. On les redistillait avec 8 à 10 pour 100 de chaux éteinte qui les purge du sulfure de carbone qu'elles contiennent toujours; on les traitait ensuite avec 3 à 4 pour 100 d'acide sulfurique à 66° Baumé, en brassant le mélange. Traitées par la vapeur, elles étaient filtrées en dernier lieu sur du charbon de tourbe pulvérulent, décolorant aussi efficace que le noir animal.

**Huiles essentielles.** — C'est sous cette désignation que l'on classait autrefois les huiles légères qui apparaissaient sous forme de petits flocons, d'un jaune tendre, dès la première distillation ou carbonisation de la tourbe et qui se liquéfient à une température de 24 à 26°. On sait depuis longtemps tirer de ces huiles, par distillations successives, des essences, des solvants et des huiles photogènes.

**Eaux ammoniacales.** — On récolte, dans la distillation

du goudron, des eaux ammoniacales contenant 20<sup>kg</sup> environ d'ammoniaque par tonne d'eau.

On les transformait en carbonate, si l'on voulait préparer l'ammoniaque liquide, ou plus généralement en sulfate d'ammoniaque.

Dans ce dernier cas, il suffit de soumettre les eaux ammoniacales à une ébullition prolongée en présence de la chaux, on obtiendrait 5 à 6 pour 100 en poids de sulfate, le rendement dépend d'ailleurs des qualités de la tourbe. On rectifie ce sel en lui faisant subir deux ou trois cristallisations; ses applications chimiques sont fort nombreuses; à l'état brut, il est la base des engrais dits complets, il faut évidemment ajouter les autres éléments nécessaires à la végétation.

**Gaz de tourbe.** — Une tonne de tourbe convenable, c'est-à-dire extraite dans l'année et parfaitement sèche, donne de 180 à 290<sup>m</sup> de gaz. Si l'on sèche artificiellement la tourbe, il ne faut pas dépasser 70 à 75° pour éviter le dégagement des gaz.

Ces gaz contiennent plus d'hydrogène et d'oxyde de carbone que les gaz de houille; si leur pouvoir calorifique est moins élevé, cela tient à la forte proportion d'anhydride carbonique et à l'excès de vapeur d'eau qu'ils contiennent.

Pour améliorer ces gaz, on peut, dans une première distillation, provoquer le dégagement de l'anhydride carbonique et des carbures gazeux, si l'on distille ensuite à température élevée le produit avec le liquide oléagineux provenant des précédentes opérations, le nouveau gaz qu'on obtient ainsi est un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone, analogue au gaz d'huile et qui a un grand pouvoir éclairant et calorifique.

Voici, à titre d'exemple, la composition gazeuse établie depuis longtemps, d'une tourbe de bonne qualité provenant des marais de Montoire :

Anhydride carbonique.....	14
Azote.....	4
Méthane et carbures.....	10
Hydrogène.....	37
Oxygène.....	2
Oxyde de carbone.....	33
	<hr/>
	100

**Alcool de tourbe.** — Cet alcool est un produit secondaire, en quantité trop faible pour une exploitation industrielle. Sa purification et sa rectification peuvent se faire comme il est d'usage pour celui que l'on retire du bois.

**Essence.** — L'essence de tourbe est un produit intermédiaire entre l'essence de pétrole et les benzols que l'on tire de la houille. Elle a une odeur caractéristique. On doit la rectifier par deux distillations simples, une rectification à l'acide sulfurique et une seconde à la soude. On peut aussi la sécher sur du chlorure de calcium avant distillation.

**Huile lampante.** — On obtient, en outre, une huile qui brûle dans les lampes comme le pétrole mais avec un plus grand pouvoir éclairant; sa densité est 0,85 et son point d'ébullition est à 110°.

**Huile lubrifiante.** — Si l'on traite les huiles lourdes provenant de la distillation du goudron par l'acide chlorhydrique concentré, on sépare une huile plus légère (densité 0,82) qui ressemble au pétrole, mais dont le point d'ébullition n'est que 210° environ. Cette huile jouit de propriétés lubrifiantes.

**Huiles basiques ou neutres.** — On tire également des huiles lourdes, par le procédé qui vient d'être indiqué, des huiles qui commencent à distiller vers 125 à 130°; au-dessus de 190°, elles fournissent des *matières colorantes*.

Ces huiles s'oxydent facilement, il vaut mieux étendre d'eau les sels de chorhydrate, puis les concentrer au bain-marie et les filtrer; les bases sont ensuite reprises par une légère dissolution de soude.

Les huiles à benzine peuvent se combiner avec l'acide nitrique et former des nitrobenzines qui, par réduction, donnent aussi des *bases colorantes*.

**Acide phénique.** — L'acide phénique s'obtient en traitant les huiles lourdes de tourbe par un acide; on les décante et on les lave à l'eau ordinaire : les huiles basiques surnagent, le précipité renfermé en grande partie l'acide phénique. Cette portion est traitée par une dissolution de soude concentrée dans des chaudières munies d'agitateurs. Le phénate de soude est ensuite décomposé par l'acide chlorhydrique, l'acide phénique surnage et, par deux distillations successives, on obtient l'acide phénique pur.

On peut aussi le préparer par le procédé suivant : dans la distillation du goudron, on recueille le produit qui distille entre 150 et 200° et on le brasse avec une dissolution concentrée de potasse; il se forme une masse cristalline que l'on traite comme précédemment par l'eau ordinaire; le phénate de potasse se dissout, on le décompose par l'acide chlorhydrique qui en chasse l'acide phénique. On sait que cet acide très faible a été découvert par Runge dans le goudron de houille et appelé *acide carbolique*. On le désigne aussi sous le nom de *phénol*. C'est un agent antiseptique. On sait, d'autre part, que le phénol et ses dérivés ont, en chimie industrielle, d'importantes et nombreuses applications sur lesquelles nous ne pourrions nous étendre sans sortir de l'objet de ce livre.

**Créosote.** — La créosote s'obtient du goudron de tourbe par des procédés analogues. Elle distille de 190 à 210°. Si, après l'avoir saturée de carbonate de sodium, on l'aban-

donne au repos, il apparaît, à la surface, une matière oléagineuse et jaunâtre que l'on décante et que l'on rectifie ensuite en ayant soin de recueillir la portion plus dense que l'eau et de l'agiter avec une solution de potasse; on la sépare ainsi des carbures avec lesquels elle était mélangée. On décante, on fait bouillir et l'on filtre; la créosote est mise en liberté par une addition d'acide sulfurique. Pour la purifier, on redistille avec des eaux alcalines et l'on traite ensuite par l'acide sulfurique. Il faut répéter ces manipulations jusqu'à ce que la créosote se dissolve dans la potasse sans laisser de résidu. On la distille alors une dernière fois en fixant le point d'ébullition à 200°; puis on la dessèche sur du chlorure de calcium.

On sait que la créosote est un liquide oléagineux, incolore, caustique et d'un grand pouvoir réfrigérant. Insoluble dans l'eau mais très soluble dans l'acide acétique, l'alcool et l'éther; elle bout à 200°, sa densité est de 1,05. Elle dissout aussi le soufre, le phosphore, les résines et certaines matières colorantes.

Au point de vue chimique, elle comprend le gáiacol, le vétratol, le créosol et le phlorol. C'est un antiseptique.

**Paraffine.** — Nous avons déjà signalé le mode de préparation de la paraffine à Weissenfels, qui laisse une faible coloration jaunâtre. Pour la décolorer, il suffit de la dissoudre à chaud dans l'alcool; elle se prend en refroidissant, en lamelles blanches et translucides, qu'on lave une seconde fois à l'alcool et que l'on fond au bain-marie. Le corps obtenu est alors d'une transparence parfaite et dépasse de beaucoup en pureté la cire vierge la mieux préparée.

On connaît les usages de la paraffine pour la fabrication des bougies, les isolants, la conservation des fruits, des œufs, etc.; elle est précieuse par sa propriété de résister à la plupart des réactifs, d'où son nom de *parum affinis*, par exemple aux acides; le *papier-filtre*, trempé dans la

paraffine en fusion supporte très longtemps sans altération le contact de l'acide sulfurique concentré, de l'acide fluorhydrique et le mélange chauffé de ces deux acides a grand'peine à noircir le papier paraffiné. La paraffine est soluble dans l'alcool et dans l'éther.

**Tableau des produits tirés de la tourbe.** — Pour terminer cette revue rapide des utilisations anciennes de la tourbe, nous donnons le tableau des substances que l'on tirait, vers 1869, d'une tonne de tourbe moulée provenant des marais de Montoire, d'après E. Bosc (*Traité de la tourbe*; J. Baudry, éditeur) :

Une tonne de tourbe moulée	50 <sup>kg</sup> goudron	huiles légères (20 <sup>kg</sup> )	{	huile de benzine.....	3 <sup>kg</sup>
				huile d'éclairage.....	5
				huile lubrifiante.....	8
				huile basique et neutre..	4
		huiles à paraffine (15 <sup>kg</sup> )	{	phénol, créosote.....	5
				paraffine.....	3
				charbon, graphite.....	2
		eaux ammoniacales	{	gaz et pertes.....	5
					4
			brai sec.....	9	
	perte.....	2			
	340 <sup>kg</sup> eaux ammoniacales donnant 22 <sup>kg</sup> de sulfate d'amm.		340		
405 <sup>kg</sup> charbon	{	charbon.....	260		
		menu.....	110		
		poussier.....	35		
	205 <sup>kg</sup> gaz et perte.....		205		
1 <sup>t</sup>	1000 <sup>kg</sup>		1000 <sup>kg</sup>		

**Autres applications de la tourbe.** — Si nous avons rappelé les procédés anciens de carbonisation de la tourbe, c'est à cause de leur analogie avec les procédés de carbonisation des lignites, et de la ressemblance des produits provenant des deux matières, notamment : de la richesse des goudrons particulièrement en produits antiseptiques et en paraffine; de l'absence plus ou moins complète de soufre, de phosphore

ainsi que de naphthaline; de la faible quantité de brai résiduel et des possibilités de tirer des carburants et combustibles liquides.

Si la distillation sèche ou carbonisation de la tourbe a été peu pratiquée jusqu'à présent, cela tient aux difficultés du séchage préalable indispensable que l'on ne peut guère obtenir économiquement qu'avec l'aide du soleil et du vent; les deux autres méthodes essayées, malaxage à froid et action d'une température modérée suivie de pression, n'ont donné de bons résultats qu'auprès de tourbières de grande dimension, de profondeur suffisante et d'extraction facile.

Aussi ne peut-on songer à généraliser la carbonisation des tourbes. C'est un cas d'espèce à examiner pour chaque tourbière. Les deux utilisations suivantes permettraient de s'affranchir de l'obligation du séchage préalable.

La combustion du *gazogène* est facile et avantageuse pour une tourbe à 40-50 pour 100 d'eau, pourvu que son prix à ce degré de séchage, obtenu facilement à l'air, soit environ le tiers de celui de la houille. On brûlerait, en même temps, dans la seconde colonne de réduction, du coke d'usine à gaz, de sorte que le prix de la calorie tourbe-coke resterait acceptable. M. E. Damour, qui préconise cette utilisation de la tourbe, fait remarquer que l'on récupère ainsi le pouvoir calorifique supérieur d'un combustible hydraté, hydrogéné et assez oxygéné, ce qui est très intéressant.

M. Emilio Damour a signalé aussi au Congrès des combustibles liquides les essais poursuivis dans les fours d'incinération des ordures ménagères où une addition de tourbe améliore beaucoup le rendement. Ces deux dernières applications pourraient convenir aussi aux lignites très humides et pauvres, comme nous le verrons.

**Séchage de la tourbe.** — Il est évidemment intéressant

de débarrasser la tourbe et certains lignites très humides, de la plus grande partie de l'eau qu'ils contiennent afin de faciliter leur combustion ou leur carbonisation. Malheureusement le séchage est une opération très difficile comme nous l'avons montré (Chap. VII).

On pourrait penser qu'il suffit d'exposer à l'air, autant que possible au vent et au soleil, les « catelets » de tourbe découpés de la tourbière, mais ce procédé ne donne de bons résultats que pendant la saison sèche, encore faut-il observer que la tourbe, simplement séchée à l'air en catelets, offre l'inconvénient de donner un coke friable, riche en fines, inutilisable en métallurgie.

Il est donc indispensable d'employer une autre méthode qui puisse transformer l'hydrocellulose en cellulose non colloïdale n'absorbant plus l'eau.

On a constaté depuis longtemps que la tourbe *malaxée* et *triturerée* à froid sèche beaucoup plus vite et donne une masse dure. Ainsi un échantillon de tourbe noire et grasse de Datmoor (Devonshire), ayant été malaxé à la main pendant un temps très court, arrivait au terme pratique de son séchage en 40 jours, délai pendant lequel son humidité était passée de 90 à 30 pour 100.

Il est d'ailleurs difficile de se procurer des renseignements précis sur l'influence du malaxage. Challeton, qui avait mis en œuvre en 1858 un procédé de malaxage de la tourbe dans l'eau avec épandage de la pâte sur des roseaux de jonc, dit que la masse se trouve assez ferme, au bout de quelques jours, pour que les bûches formées puissent être retournées pour accélérer ensuite le séchage; mais Schmitz père, qui a perfectionné en 1860 la méthode Challeton en séparant les cendres et décantant la bouillie tourbeuse purifiée, n'obtenait des échantillons séchés qu'au bout de 65 jours. Montgolfier, qui expérimenta la même méthode, en façonnant cependant la tourbe en bûches cylindriques, afin d'augmenter la surface d'évaporation par unité de volume,

assure que la gadoue tourbeuse était assez sèche au bout de 24 heures pour passer dans le compresseur moulant les bûches, mais ne donna pas la durée totale du séchage des bûches préparées de cette façon.

La *précarbonisation*, qui consiste à porter la masse à une température modérée et sous pression (procédé Ekenberg perfectionné par la Wetcarbonizing Co), exige malheureusement la combustion d'une grande partie de la tourbe dans les séchoirs; van Ecke <sup>(1)</sup>, très optimiste, évalue cette quantité à 37 pour 100.

En réalité l'usine de Dumfries de la Wetcarbonizing Co brûlait 121 tonnes de charbon pour obtenir 135 tonnes de briquettes de tourbe, même s'il s'agissait d'un charbon inférieur à 6000<sup>cal</sup>, on sacrifiait autant de calories sous forme de charbon qu'on en produisait sous forme de briquettes de tourbe à 8,9 pour 100 d'humidité, 8 à 9 pour 100 de cendres, d'un pouvoir calorifique inférieur de 4380<sup>cal</sup>.

Il reste donc beaucoup de progrès à faire dans la dessiccation préalable des tourbes. Nous avons vu qu'il en est de même pour les lignites. L'emploi de la force centrifuge, celui de la vapeur surchauffée, ne sont des procédés ni économiques, ni vraiment efficaces.

Eckenberg a indiqué que si la tourbe est cuite au-dessus de 150°, on peut ensuite chasser l'eau à la presse mais il arrive un moment où les parties solides de la tourbe, se joignant sous la presse, s'opposent au filtrage de l'eau. Un procédé récent (Exsiccateur-récupérateur (*Chimie et Industrie* de septembre 1922) agit par pression et par *succion* : une chaudière à basse pression aspire violemment à travers la tourbe même, la vapeur de l'autoclave de cuisson et les chaleurs de vaporisation sont récupérées, ce procédé n'a pas, croyons-nous, reçu encore une confirmation pratique éclatante.

---

(1) *Exploitation industrielle de la tourbe*. Paris, Dunod, 1918.

**Carbonisation et distillation du lignite à Weissenfels et à Webar.** — L'industrie, créée aux confins de la Saxe et de la Thuringe, près d'un gisement de 20<sup>m</sup> de puissance environ, progressa très rapidement. En 1892, on produisait : à Weissenfels, 60 000 tonnes d'huile brute, et à Webar, 18 000 tonnes par an.

Le four de carbonisation (*fig. 38*) était chargé en couronne sur les chapeaux de tôle supérieurs.

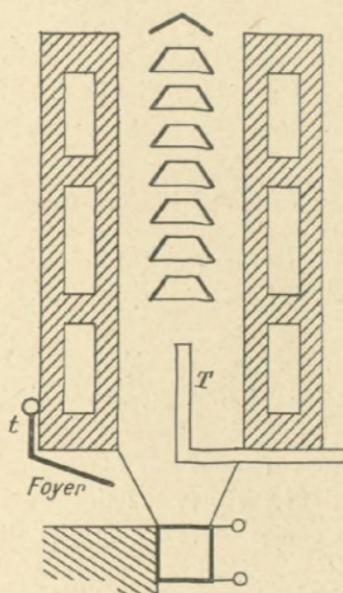


Fig. 38. — Four de Weissenfels en 1890.

Les produits vaporisés étaient aspirés par la tubulure T et le coke résiduaire, éliminé, après séjour dans l'étouffoir inférieur.

Le four était chauffé, partie avec du lignite et partie avec les gaz permanents de distillation, ramenés par la tubulure t.

Un four de 7<sup>m</sup> de haut, 1<sup>m</sup>,60 de diamètre, pouvait

traiter 3 tonnes par jour d'une manière continue : en retirant le semi-coke résiduaire toutes les heures.

Pendant le rendement n'était pas très considérable. On ne retirait que 7 pour 100 d'huile brute ou goudron, de la partie supérieure de la couche, la plus riche, de couleur jaune clair, d'une consistance analogue à du bois pourri.

On a vite remarqué que si l'on carbonisait dans *le vide*, on doublait la production, les goudrons contiennent moins de produits légers mais beaucoup plus de paraffine. Les rectifications se font toujours dans le vide.

L'huile brute de densité 0,87 est demi-solide, elle renferme des carbures  $C^n H^n$ ,  $C^n H^{n+2}$ , des acides, des résines, des thiophènes supérieurs, des mercaptans et *aucun carbure aromatique*.

La distillation de l'huile brute s'opère sous une pression de 40<sup>cm</sup> de mercure et dure 8 heures; elle consomme 250<sup>kg</sup> de houille par tonne d'huile et produisait, à l'époque dont nous parlons, 55 pour 100 d'huile paraffinée et 30 pour 100 d'huiles de densité 0,86.

Les épurateurs à l'acide sulfurique à 68° B. et à la soude caustique en solution à 36° B., d'une capacité de 20<sup>m<sup>3</sup></sup>, travaillant, à l'air comprimé pour le brassage de la masse, traitaient 300 tonnes d'huiles par jour.

Les résidus étaient distillés à l'aide de la vapeur vive.

La solution de soude enlève à l'huile des combinaisons phénoliques appelées *créosote* ne contenant pas le phénol, mais les trois crésols et le créosol.

L'épuration n'enlève que partiellement les 0,5 à 4 pour 100 de soufre, que l'huile brute contient toujours.

La paraffine était extraite par les méthodes employées dans les usines de pétrole ou de schiste (réfrigération, compression des pains obtenus, lavage à la soude caustique 1 pour 100, dissolution dans la benzine, congélation, blanchiment à 5 pour 100 de noir animal avec brassage vigoureux, passage au filtre-pressé).

Quant aux huiles, elles sont soumises à une série de distillations et d'épurations qui consomment 500<sup>kg</sup> de houille par tonne d'huile brute.

Les rendements en 1890 étaient les suivants : Une tonne de lignite donne 60 à 70 litres d'huile brute. Une tonne d'huile brute fournissait 700 à 800<sup>kg</sup> de produits marchands :

Huiles lampantes.....	50 à 200
Huiles lourdes.....	20 à 50
Paraffine.....	150 à 200
Créosote.....	50 à 150
Coke de gaz.....	300 à 200

On avait aussi de l'huile légère, de l'huile de graissage et de la poix.



---

## CHAPITRE X.

### LES TRAVAUX DE LA COMMISSION DE CARBONISATION.

---

SOMMAIRE. — Rapport de M. E. Métivier. — La Commission de carbonisation : Production du benzol national. Développement de l'emploi du coke. — Gazogènes au bois et au charbon de bois. — L'état actuel et l'avenir de la carbonisation. — Inventaire des richesses de la France en schistes bitumineux, lignites et tourbes. — Conclusion.

**Rapport de M. E. Métivier.** — M. Ernest Métivier, chef du Département de l'Artillerie des Établissements Schneider, dans son rapport en date du 27 juin 1919, proposait, au Comité général du pétrole, un programme national de Carbonisation.

Ce document remarquable a été l'objet de discussions <sup>(1)</sup> très intéressantes au sein du Comité Général qui en a tenu le plus grand compte.

M. Métivier fait remarquer que les gaz ont une prépondérance thermique considérable, puisqu'ils renferment à eux seuls 95 pour 100 des calories contenues dans l'ensemble des produits de carbonisation (si l'on gazéifie complètement ensuite le coke obtenu dans cette opération); c'est donc sur une bonne utilisation thermique des gaz que l'on devrait diriger les efforts nécessaires au meilleur rendement thermique des combustibles dont nous disposons. L'auteur reconnaît d'ailleurs l'importance des benzols et des huiles comme combustibles *portatifs*.

---

(1) Voir son analyse critique dans le *Génie civil* du 4 octobre 1919.

Appliquant ses idées à titre d'exemple particulièrement probant à une région agricole (Beauce et Brie), il évalue approximativement les résultats de la carbonisation pour cette seule région, de la manière suivante :

- a. Économie de 33 pour 100 sur la consommation de houille;
- b. Économie correspondante de 40 millions or;
- c. Rémunération de 10 pour 100 au capital engagé.

Aussi le rapport préconisait-il, à titre expérimental, la création, sur l'initiative de l'État et avec sa participation, d'un premier centre de carbonisation dans une région agricole de préférence et représentant des conditions moyennes d'installation et d'exploitation.

Ce dernier vœu n'a encore reçu aucun commencement d'exécution.

Par contre, il a été tenu le plus grand compte des trois conclusions qui précédaient cette dernière dans le beau travail de M. Métivier :

1<sup>o</sup> Usage exclusif, dans l'industrie métallurgique, de coke fabriqué en France avec récupération complète des sous-produits;

2<sup>o</sup> Utilisation au maximum de la puissance thermique laissée disponible par les industries métallurgiques et gazières après satisfaction de leurs besoins directs;

3<sup>o</sup> Création par l'État d'un organe d'études et de recherches largement outillé et doté pour l'étude de toutes les questions relatives à l'utilisation rationnelle des combustibles.

D'une part, la Commission interministérielle d'utilisation des combustibles a étudié l'une des faces du problème et a publié notamment le très intéressant rapport de M. Rauber sur les conditions générales d'installation des Centrales thermiques à vapeur (*Journal officiel*, 14 août 1921), sur

lequel nous regrettons de ne pouvoir nous étendre, le travail de M. Métivier ayant plutôt servi de point de départ aux études plus générales de la Commission de Carbonisation.

**La Commission de Carbonisation.** — Les attributions du Commissariat général aux essences et pétroles ayant été transférées au Ministère du Commerce, ce Département créa, d'accord avec celui des Travaux publics, par décret du 16 mars 1922, la Commission de Carbonisation chargée d'élaborer un programme général de carbonisation, de proposer toutes mesures à cet effet et surtout (mais ce n'était pas là son but officiel) de remettre au point les prévisions par trop optimistes des ressources en hydrocarbures que l'on peut attendre de la carbonisation des combustibles à haute et basse température. Officiellement, les travaux de la Commission devaient s'exercer sur quatre objets principaux :

1<sup>o</sup> Généralisation de la distillation de la houille pour en extraire les produits volatils ;

2<sup>o</sup> Étude de la carbonisation des lignites et des tourbes ; inventaire de la richesse française en lignites et tourbes et estimation de la teneur en produits volatils ; méthodes de traitement ; utilisation des résidus ;

3<sup>o</sup> Développement de la carbonisation des bois, notamment pour la fabrication d'un dénaturant pour l'alcool devant entrer dans le carburant dit « national » ;

4<sup>o</sup> Perfectionnement de l'industrie des schistes bitumineux.

Si la Commission avait épuisé entièrement ce programme, particulièrement le second article, nous ne pourrions que nous référer complètement aux travaux de cette assemblée qui comprend des représentants des Pouvoirs publics, des techniciens réputés pour leur compétence et d'habiles administrateurs des industries intéressées. Malheureuse-

ment les résultats acquis et qui ont été publiés au *Journal officiel* du 1<sup>er</sup> mai 1923, p. 4293, se bornent à des considérations générales fort intéressantes, mais dépourvues de sanction pratique, sur le débenzolage du gaz d'éclairage et l'emploi du coke, sur la protection de l'industrie des schistes, sur l'évaluation des ressources en lignites et tourbes. La conclusion même du Rapport est nettement pessimiste : « Dans les conditions économiques normales, on ne saurait à beaucoup près — et spécialement pour l'avenir immédiat — compter exclusivement sur la carbonisation pour assurer l'indépendance économique et militaire du pays. »

Nous serions tout à fait découragés si, quelques lignes plus haut, le rapport, faisant allusion à l'appoint d'huiles provenant de la distillation des tourbes et lignites, ne constatait l'imprécision des travaux des deux sous-commissions intéressées.

Puisque dans les lignites réside encore l'espoir, en analysant ce rapport qui consacre officiellement un petit nombre de faits, de travaux et de chiffres à peu près indiscutables, nous nous étendrons particulièrement sur ce qui concerne les lignites, mais sans passer sous silence les autres sources nationales de produits volatils, susceptibles d'aider notre ravitaillement en hydrocarbures. Les différents éléments du problème dépendent trop les uns des autres pour qu'on puisse séparer radicalement l'un d'eux.

*Production du benzol national.* — Le goudron des usines à gaz ne contient que peu d'huiles légères, les vapeurs de benzol restent dans le gaz où il y a intérêt à les récupérer. Le débenzolage abaisse un peu le pouvoir calorifique du gaz, ce qui n'a aucun inconvénient pour le consommateur si celui-ci reçoit pour le même prix la même quantité de calories; il faut cependant une nouvelle loi pour modifier les cahiers des charges de distribution de gaz et la Commission a émis le vœu que le chiffre de 4700 calories, arrêté

par la Chambre, fût ramené à 4000 et que, d'autre part, la proportion de gaz à l'eau dans le gaz d'éclairage ne fût pas limitée. Le Sénat a adopté ces conclusions.

La Commission a provoqué aussi une proposition de loi tendant à exonérer les benzols français du droit de 20<sup>fr</sup> institué en 1920.

Ces mesures ne seront pas inutiles, *la production française actuelle n'atteint pas 15 000 tonnes*, la majeure partie de cette production étant fournie par les cokeries; deux usines à gaz seulement débenzolent : celle de Lyon et celle de Bordeaux (un essai de débenzolage à l'aide du charbon activé doit être tenté très prochainement à Grenoble).

*Les schistes.* — L'industrie des schistes est déficitaire, son exploitation se traduit par une perte de 7<sup>fr</sup> au moins par tonne. Le dégrèvement des produits lourds dans le but très louable de favoriser l'emploi du moteur Diesel (loi douanière du 5 août 1919) accentua la crise des schistes dont les huiles lourdes sont ainsi plus chères que les produits étrangers introduits au tarif réduit.

Comme remède, la Commission propose d'exonérer l'industrie schistière de la redevance proportionnelle des mines fixée à 20 pour 100 et du droit intérieur de 20<sup>fr</sup> par hectolitre sur les produits légers, afin de ne pas l'inciter à ne produire que des huiles lourdes. En outre, l'Office du Pétrole devra aider financièrement l'industrie des schistes et, en attendant la création de cet Office, la Commission a envisagé des avances de l'État.

*Développement de l'emploi du coke.* — En l'absence de renseignements certains sur la carbonisation des lignites, la Commission a pensé que c'est d'abord du côté de la houille que l'on pourra obtenir des résultats.

Mais, dans cette industrie de la carbonisation, les produits liquides seront toujours des sous-produits et la Commission est d'avis de faciliter le développement de la car-

bonisation en favorisant l'emploi des produits principaux, gaz et coke.

Les usines à gaz écoulent facilement leur coke.

Les fours à coke métallurgique vendent bien leur coke et une partie au moins de leur gaz.

Nous savons que, dans son rapport du 27 juin 1919, M. Métivier envisageait la création systématique d'installations de carbonisation, dont le gaz et le coke seraient employés à la production d'énergie dans des centrales électriques.

La carbonisation obligatoire paraît rencontrer de grandes difficultés et, en attendant, on pourrait lier les efforts de l'industrie du gaz et de l'industrie du coke métallurgique en utilisant tant qu'on le pourra le gaz de fours à coke pour l'éclairage et le chauffage privés et, d'autre part, disposer les fours de certaines usines à gaz de manière à produire du coke susceptible d'être utilisé dans la métallurgie.

L'écoulement du coke métallurgique dépend des besoins en fonte qui dépendent peu des Pouvoirs publics.

Il en est autrement de l'emploi du coke de gaz. La substitution de ce combustible aux charbons flambants, maigres ou anthracites, pousserait à la carbonisation et la Commission a formulé des conclusions très nettes à ce sujet :

- 1<sup>o</sup> Proscrire l'emploi de combustibles flambants dans les villes par une *réglementation sévère des fumées*;
- 2<sup>o</sup> Généraliser l'emploi du coke dans les *chaudières de chauffage central* par une adaptation de ces chaudières consacrée par des essais officiels;
- 3<sup>o</sup> Obtenir en premier lieu l'application de ces mesures par les *administrations publiques* toutes désignées pour donner l'exemple aux autres consommateurs;
- 4<sup>o</sup> Développer à ce point de vue l'*instruction générale des consommateurs* par la distribution de brochures illustrées

aux établissements d'instruction générale et d'*enseignement technique*.

Nous ferons remarquer que ces mesures très sages favoriseraient, non seulement la carbonisation des houilles, mais celle des tourbes et surtout des *lignites* qui peuvent donner un excellent semi-coke utilisable dans les foyers à combustibles pulvérisés ou plus facilement encore sous forme de briquettes ou de boulets ovoïdes brûlant sans fumée.

**Gazogènes au bois et au charbon de bois.** — Il est tentant de réduire l'importation des produits pétrolifères en développant l'utilisation, dans les gazogènes, de bois français. La Commission s'est documentée sur les essais effectués par la direction des inventions et a décidé d'établir un programme qui amènerait les constructeurs à porter leurs efforts sur les points qui restent à étudier.

Nous pensons cependant que l'emploi du bois dans des gazogènes amovibles sur voitures restera toujours assez limité (1).

*La production et l'écoulement du méthylène.* — L'acétone et les acétates indispensables pour la défense nationale ne peuvent être tirés que de la carbonisation du bois, qu'il faut aider en favorisant l'écoulement de tous les sous-produits, notamment du plus important en quantité, le méthylène.

On a donc songé à profiter de l'établissement d'un carburant à base d'alcool pour élargir le débouché du méthylène et la Commission a présenté, à ce sujet, les propositions suivantes :

1<sup>o</sup> La dose de dénaturation de l'alcool employé à tous

---

(1) Il paraît plus avantageux d'utiliser, dans les mêmes appareils ou dans des appareils analogues, des briquettes ou boulets provenant de l'agglomération du semi-coke de lignite avec du brai.

autres usages que le carburant national sera fixée, en principe, à une dose compatible avec la production de méthylène et sauvegardant les intérêts du Trésor;

2<sup>o</sup> Le méthylène restant sera utilisé pour la dénaturation de l'alcool incorporé au carburant national à une dose revisable qui en assure l'écoulement;

3<sup>o</sup> Tant pour amortir les variations du taux du dénaturant que pour pouvoir faire face aux exigences éventuelles d'une économie de guerre, il sera constitué un stock de réserve de méthylène.

L'écoulement de ce produit est donc lié au carburant à base d'alcool et aux conditions de pureté suffisante dans lesquelles le méthylène peut être obtenu, de sorte qu'il ne puisse nuire, ni à la stabilité du carburant, ni à la conservation des organes des moteurs. On peut penser qu'il sera facile d'y arriver. Notons en même temps que la meilleure formule d'un carburant à base d'alcool paraît être : alcool, 50 pour 100; benzol, 50 pour 100. L'industrie des lignites n'a donc rien à craindre du développement du carburant à base d'alcool : d'ailleurs, la betterave, ni les autres cultures industrielles ne pourront jamais fournir même la moitié de l'alcool qui serait nécessaire pour remplacer tous les autres carburants.

**L'état actuel et l'avenir de la carbonisation.** — La Commission s'est bornée à étudier complètement les ressources qu'on peut attendre de l'industrie du gaz et de l'industrie du coke métallurgique. Il est évident qu'il est difficile d'évaluer avec précision le développement possible de la carbonisation en France. La Commission a récapitulé les résultats de son étude dans le tableau ci-après :

*Évaluation des productions de benzol et d'huile au bout de plusieurs années de prospérité industrielle (milliers de tonnes) :*

	Temps de paix.	
	—	
	Benzol et huiles	
	légères.	lourdes.
Gaz d'éclairage.....	60	135
Cokeries.....	80	130
Gazogènes.....		15
Majoration ou diminution, en cas d'application de nouvelles méthodes de carbonisation, à la moitié de la production totale française..	— 6,5	+ 92
Totaux.....	133,5	372
	Temps de guerre.	
	—	
	Benzol et huiles	
	légères.	lourdes.
Gaz d'éclairage.....	60	135
Cokeries.....	60	100
Gazogènes.....		15
Majoration ou diminution, en cas d'application de nouvelles méthodes de carbonisation, à la moitié de la production totale française..	— 3,5	+ 69
Totaux.....	133,5	319

Il importe, pour donner leur véritable signification aux chiffres de ce tableau, de faire les remarques suivantes :

1<sup>o</sup> L'obtention d'une fraction importante des tonnages d'huiles lourdes indiquées ci-dessus, reste subordonnée au succès d'essais encore à leurs débuts, entrepris dans la Sarre et à l'adaptation des procédés au traitement des houilles françaises, ce qui constitue, dans l'état actuel des choses, une anticipation très hardie.

2<sup>o</sup> Le dédoublement de la consommation et, par conséquent, de la production du gaz d'éclairage, dont il a été fait état, ne paraît pouvoir être réalisé que dans un avenir

assez éloigné. Une majoration de 50 pour 100 correspondrait déjà à des progrès considérables.

3<sup>o</sup> Les tonnages de houille, susceptibles d'être annuellement traités dans les distillations de carbonisation existantes ou en reconstitution (régions libérées), sont de l'ordre des chiffres suivants :

Cokeries, 6 millions et demi de tonnes.

Usines à gaz, 5 millions de tonnes.

La production de tonnages d'hydrocarbures mentionnée au tableau précédent suppose la construction de nouvelles installations surpassant en importance celles qui existent et susceptibles de traiter :

Cokeries, 9 millions et demi de tonnes.

Usines à gaz, 5 millions de tonnes.

Ces constructions ne sauraient se réaliser sans délais importants et sans des dépenses dont l'évaluation peut être faite comme suit :

Pour les cokeries et leurs annexes, on peut estimer à 900<sup>fr</sup> les immobilisations par tonne de houille annuellement traitée :

Soit 950 millions de francs.

Si l'on ajoute les installations de carbonisation à basse température, on arriverait à un total voisin de 1 200 000 000<sup>fr</sup>.

Pour l'industrie gazière dont les accessoires sont plus importants (canalisations, gazomètres, épuration, triage de coke), on peut estimer à 950<sup>fr</sup> les immobilisations par tonne de houille annuellement traitée. Mais comme une grande partie des installations existantes, notamment les canalisations, pourraient être utilisées, on peut admettre un chiffre plus faible et tabler sur une dépense de l'ordre de 2 à 3 milliards.

4<sup>o</sup> Les cokeries à construire devront, pour des raisons économiques, être situées au voisinage des hauts fourneaux. Or, sur 221 hauts fourneaux français, 152 appartiennent aux départements de l'Est, et, par conséquent, les cokeries

qui seraient construites au voisinage de ces hauts fourneaux risqueraient d'être mises, en temps de guerre, hors de service.

Il est vrai que les hauts fourneaux eux-mêmes, ainsi que les usines et les mines voisines, courent les mêmes risques et que les mesures de protection qui devraient être prises pour ces établissements indispensables à la défense nationale couvriraient, en même temps, les fours de carbonisation.

Toutes réserves doivent également être faites sur la possibilité d'assurer, en temps de guerre, le ravitaillement des cokeries en houille.

5° Le développement de la carbonisation envisagé ci-dessus donnerait de 700 000 à 750 000 tonnes de brai; or, la consommation française actuelle est de 250 000 tonnes environ, dont 125 000 tonnes produites en France. Il y aurait donc lieu d'assurer, au surplus, des débouchés suffisants. On peut, d'ailleurs, espérer trouver ces débouchés, à condition que le prix soit assez bas, soit dans l'utilisation du brai comme combustible direct, soit dans l'augmentation de la quantité fabriquée d'agglomérés de toutes natures, briquettes ou boulets, soit dans la confection des chaussées, si l'on peut, comme il est probable, extraire des brais un produit possédant les qualités physiques requises.

6° Il n'a pas été tenu compte, dans les évaluations qui précèdent, de la production de la Sarre.

7° Rappelons, enfin, que les évaluations ci-dessus ont été basées sur l'hypothèse d'une industrie fonctionnant en régime économique libre. S'il était reconnu que la carbonisation peut être rendue obligatoire, ce qui pose, ainsi qu'il a été dit, de graves problèmes, les conclusions deviendraient également toutes différentes.

Il n'a pas été tenu compte non plus des possibilités que pourraient donner l'hydrogénation des charbons suivant les procédés Bergius et autres, procédant des théories de M. Sabatier. Ces méthodes ne paraissent pas encore indus-

triellement au point et se heurtent à la difficulté qui résulte du prix élevé de l'hydrogène. Si l'on peut, comme il est à croire, utiliser, pour expliquer ces méthodes, les gaz de fours au lieu d'hydrogène, l'application pourrait en être particulièrement intéressante, en cas de conflit; mais des études à faire peuvent exiger encore vraisemblablement un certain temps.

En résumé, les chiffres du tableau précédent, que nous considérons beaucoup plus comme des possibilités que comme des probabilités, constituent des maxima qui ne sont susceptibles d'être atteints qu'au prix d'efforts, de circonstances favorables, de délais et de dépenses considérables. Pour nous limiter à des résultats susceptibles d'être atteints à échéance moins lointaine, supposons que les cokeries et usines à gaz réussissent, dans un certain nombre d'années, à augmenter de 50 pour 100 leur capacité de production. On arriverait ainsi aux chiffres suivants :

	Benzol et huiles	
	légères (milliers de tonnes).	lourdes (milliers de tonnes).
Gaz d'éclairage.....	45	100
Cokeries.....	50	80
Gazogènes.....	»	15
Totaux.....	95	195

Dans ses travaux sur la carbonisation, la Commission n'a donc pas fait entrer en ligne de compte les richesses françaises en schistes bitumineux, *lignites* et tourbes; elle avait cependant, au début même de ses travaux, procédé à un inventaire rapide de cet actif important

**Inventaire des richesses de la France en schistes bitumineux, lignites et tourbes.** — Au seuil de ses travaux, la Commission a estimé utile de dresser l'état des richesses

de la France au point de vue de la carbonisation. Son examen a été rapidement fait en ce qui concerne les lignites, les schistes et les tourbes. Une étude analogue est en cours concernant la répartition et la qualité des houilles.

1<sup>o</sup> *Les schistes bitumineux.* — En se limitant aux parties des gisements les plus connues et les plus accessibles, la Commission a évalué les réserves de la France en schistes bitumineux à un chiffre approximatif d'une cinquantaine de millions de tonnes. Plus de la moitié de ces réserves est contenue dans le bassin de l'Autunois (Saône-et-Loire), le seul exploité à l'heure actuelle. Le bassin de l'Aumance (Allier) est inactif depuis la guerre. Des gisements appréciables sont situés dans les Basses-Alpes (bois d'Asson), le Var (Boson, la Madeleine), la Vendée (Faymoreau), le Cantal (Vendes) et le Puy-de-Dôme (Menat).

Le rendement des schistes de ces divers gisements en produits liquides est variable : le schiste de l'Autunois, actuellement exploité, donne en moyenne à la tonne 90 litres de produits liquides dont la distillation donne 5 litres d'essence, 20 litres d'huile lampante, 10 litres d'huile lourde, 35 litres de goudron, 3<sup>kg</sup> de paraffine. Le traitement du schiste donne aussi 12<sup>kg</sup> de sulfate d'ammoniaque à la tonne.

2<sup>o</sup> *Les lignites.* — La Commission s'est attachée à dégager les caractères généraux, géographiques et géologiques des différents bassins; elle a envisagé pour chacun le nombre et la puissance des couches, l'importance et les particularités de l'exploitation: Ainsi elle a étudié les bassins de Fuveau, de Manosque, du Comtat, du Larzac, des Landes, des Alpes, du Sarladais, de la Caunette, d'Estevar et de Gouhenans.

La production de ces différents bassins a été la suivante :

	1918.	1919.	1920.
Fuveau.....	1 056 527 <sup>t</sup>	656 384 <sup>t</sup>	664 828 <sup>t</sup>
Manosque.....	74 891	51 912	70 817
Comtat, Gard, Ardèche, Vaucluse, Bagnols.....	42 300	35 209	54 660
Alais.....	52 406	35 425	40 660
Methamis.....	33 445	2 984	20 891
Trévezel.....	»	»	»
Piolenc.....	»	»	»
Uzès.....	»	»	»
Vénéjan.....	»	»	»
Larzac.....	21 589	44 625	20 035
Landes.....	37 301	16 921	28 396
Sarladais (Dordogne).....	5 589	7 611	10 558
Caunette (Aude), Hérault.....	5 091	3 271	2 741
Alpes.....	25 575	18 104	22 990
Estavar (Pyrénées-Orientales).....	2 320	3 478	2 630

Le bassin de Fuveau est donc le plus important. Il s'étend sur près d'un millier de kilomètres carrés; il a donné lieu à un nombre considérable de concessions.

L'évaluation des réserves de lignite du sous-sol français ne peut être qu'approximative, la connaissance des gisements n'étant pas encore complète (1). La Commission, se basant sur les données acquises et sur les présomptions géologiques les plus favorables, a estimé à 2 milliards de tonnes environ les réserves françaises en lignite, ces réserves se présentant d'ailleurs dans des conditions très diverses de richesse et de facilité d'exploitation.

3<sup>o</sup> *Les tourbes.* — La Commission n'a pas encore procédé

---

(1) Dans la plupart des cas, l'exploitation est limitée aux affleurements.

à un inventaire complet et précis de la richesse française en tourbe, mais les renseignements qu'elle a déjà recueillis permettent d'évaluer à environ 500 000 hectares l'étendue de nos tourbières réparties sur un grand nombre de départements. La Loire-Inférieure en premier lieu, puis la Somme, le Finistère, les Basses-Alpes, le Pas-de-Calais, l'Oise, l'Aisne et la Manche sont les départements les plus richement dotés en tourbières.

**Conclusion.** — Les quantités de benzol et d'huile que l'on peut tirer de la carbonisation, suivant le programme envisagé par la Commission, semblent encore très inférieures aux besoins de la France en hydrocarbures.

Rien dans cette conclusion ne doit nous décourager. Le manque de documentation de la Commission sur les procédés de carbonisation des lignites l'a obligée à ne pas tenir compte des ressources en carburants et combustibles liquides que l'on en peut attendre, même sans envisager la mise au point de procédés catalytiques perfectionnés. Cette industrie naissante ne peut craindre de manquer de débouchés, puisque, même la carbonisation générale des houilles, reconnue difficilement applicable quant à présent, ne saurait fournir tous les produits indispensables. Si l'on doit carboniser, il est évident qu'il vaut mieux commencer par les combustibles qui, sans cela, seraient ou inutilisables ou très mal utilisés. Il y a, d'autre part, dans les lignites, des paraffines et d'autres substances que l'on ne peut trouver dans les houilles.

Ainsi, des constatations officielles et des études approfondies de la Commission au sujet de la houille, se dégagent avec l'importance des lignites, l'intérêt économique national et financier de leur exploitation intensive, sans qu'on puisse redouter que, ni les gaz, ni le semi-coke obtenus en même temps ne trouvent un écoulement rémunérateur.

Mais avant d'acquiescer cet espoir, il était indispensable

que quelqu'un montre le chemin des récoltes futures. M. Méti-  
vier, ayant dressé le bilan thermique du pays, a été le premier  
rapporteur <sup>(1)</sup>, c'est-à-dire l'animateur de la carbonisation  
intégrale des combustibles français; l'un des moyens les  
plus efficaces du rétablissement de notre change.

---

(1) Nous citerons aussi MM. Laurain, Mallet, Hardel, rapporteurs  
particuliers, et MM. Brunschwig et Pomaret, rapporteurs généraux  
de la Commission de Carbonisation.



---

## CHAPITRE XI.

### LA GAZÉIFICATION DES LIGNITES.

---

SOMMAIRE: — Considérations générales. — Fours de grillage. — Gazogènes. — Gazogènes allemands à récupération de sous-produits. — Résultats économiques obtenus en Allemagne. — Autres gazogènes. — Foui J. Pieters.

**Considérations générales** — Lorsque la mine est installée à proximité d'une ville ou dans une région industrielle susceptible d'utiliser le gaz ou l'énergie électrique produite à l'aide de moteurs à gaz, la gazéification directe du combustible cru peut être une excellente opération, particulièrement si les goudrons que l'on obtiendrait par carbonisation à basse température, ne sont pas très riches en sous-produits marchands et *a fortiori* si le lignite très cendreux ne permet pas d'espérer une vente avantageuse du semi-coke de carbonisation, soit sous forme de combustible pulvérisé, soit sous forme d'agglomérés.

On peut d'ailleurs, lorsque les goudrons sont riches, les extraire d'abord dans une opération préalable, puis gazéifier le résidu. La combinaison de ces deux opérations est très en faveur en Allemagne comme nous le verrons.

Quand on veut du gaz, il faut chercher à en produire la plus grande quantité possible avec le meilleur pouvoir calorifique.

Les expériences de laboratoires et les rendements industriels effectifs montrent que l'on a le plus grand avantage à pousser la température de distillation.

Par exemple, voici les rendements trouvés par MM. Benson et Garfield de Washington et que M. Ch. Berthelot rapporte dans le n<sup>o</sup> 6 de 1922 de *Chimie et Industrie*. Ces ingénieurs traitaient au four rotatif un lignite à 12,1 pour 100 d'humidité, 10,41 pour 100 et 38,6 pour 100 de matières volatiles, analyse qui ne pourrait nous donner qu'une idée très approximative des qualités du combustible pour la carbonisation (la composition des matières volatiles, non leur teneur globale, étant ce qui importe le plus) mais qui peut suffire à fixer nos idées sur la gazéification.

Température.	Gaz (m <sup>3</sup> par tonne).	Pouvoir calorifique supérieur.
150.....	0,085	»
200.....	0,227	»
250.....	0,622	1600
300.....	56,6	2000
350.....	100,2	3060
400.....	137,3	3330
450.....	169,6	3420
500.....	195,6	3470
550.....	217,1	3520
600.....	235,3	3860

Nous pouvons regretter que l'on ne nous dise pas avec quelle rapidité l'opération a été poussée, ce qui est important pour le rendement en gaz, ni que l'on ne nous donne pas les rendements au-dessus de 600°. Ceux que nous avons nous permettent cependant de constater que le pouvoir calorifique du gaz et son volume augmentent avec la température. Il est bien évident que, simultanément, les rendements en coke diminuent de 90 à 62 pour 100 et que les matières volatiles restant dans ce coke s'abaissent elles-mêmes de 36 à 4 pour 100. Les rendements, en goudron, qui s'élèvent d'abord jusqu'à 3,5 pour 100 à la température de 350°, s'abaissent ensuite à 1 pour 100 pour la température de 600°.

Sans attacher une grande importance aux chiffres eux-

mêmes qui dépendent du combustible et des modalités de traitement, nous pouvons affirmer, ce que l'on pouvait d'ailleurs prévoir, que le bon rendement en gaz à des températures croissantes n'est obtenu qu'aux dépens de la teneur en coke et en goudrons.

Les qualités de ces produits s'affaiblissent en outre; c'est ainsi que leur teneur en huiles légères qui se maintient au voisinage de 10 pour 100 jusqu'à 400-450°, s'abaisse à 3,6 pour 100 à 600°, les huiles moyennes restent en quantité voisine de 41 pour 100 du goudron à toute température entre 250 et 600° mais les *huiles paraffinées deviennent moins abondantes*, la teneur en paraffine dure qui atteint 1<sup>kg</sup>,47 par tonne à 400° s'abaissant à 0<sup>kg</sup>,045, c'est-à-dire à presque rien lorsque la température atteint 600°. Le lignite traité nous paraît d'ailleurs bien pauvre en paraffine ou bien les appareils employés sont bien peu recommandables pour la récupération de ce produit très recherché.

En même temps que s'élèvent les températures, les densités des différentes huiles augmentent, ce qui décèle l'altération de leur composition.

Par contre, le rendement en sulfate d'ammoniaque croît de 1,34 à 4,68 par tonne lorsque la température passe de 300 à 600°.

Nous sommes donc bien avertis. Si nous voulons du gaz, nous le payerons par la diminution de la quantité et de la qualité des sous-produits, sauf le sulfate d'ammoniaque dont la vente n'est pas très rémunératrice.

**Fours de grillage.** — Nous ne citons ces fours que pour mémoire, qu'ils soient à étages superposés ou non, avec ou sans déplacement automatique de la matière, ils ne peuvent donner qu'un rendement très faible en gaz et sous-produits pour une dépense excessive d'installation.

Le lignite broyé ou pulvérisé est disposé en mince couche sur les plateaux.

L'air arrivant par le bas s'échauffe au contact du résidu calciné des derniers plateaux, brûle le poussier sur les plateaux moyens, les gaz brûlés servent à distiller et sécher la matière sur les plateaux supérieurs.

Il sort du four un mélange de produits vaporisés et de gaz provenant de la combustion, de la distillation, de la dessiccation de la matière, mélange qui occupe près de cinq fois plus de volume que les gaz de distillation, ce qui oblige à augmenter les dimensions des appareils de récupération ainsi que les bâtiments de l'usine.

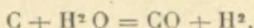
Le rendement final est médiocre, tout le coke est consommé pour produire uniquement la distillation dans de mauvaises conditions, une grande proportion d'hydrocarbures formés sont décomposés par suite de la température excessive des gaz brûlés, une autre partie est brûlée directement par l'excès d'oxygène nécessaire à la combustion sur les plateaux moyens.

Le gaz obtenu est d'un pouvoir calorifique inférieur au tiers de celui que l'on obtiendrait par simple distillation, il contient une grande quantité de poussières.

Enfin les prix d'installation et les frais d'entretien des fours mécaniques sont excessifs.

**Gazogènes.** — Les gazogènes qui brûlent le lignite sous grande épaisseur permettent de récupérer une partie de la chaleur qui est perdue dans le four de grillage à couche mince : 2429 calories par kilogramme d'anhydride carbonique réduit. Mais cela ne pouvant s'effectuer qu'à température élevée, les produits quittent la zone de réaction entre 900 et 1000°, de sorte qu'il faudrait que la distillation du lignite fût entièrement terminée avant son entrée au gazogène, ce qui exigerait un four spécial en vase clos plus encombrant que le gazogène lui-même. Il semble donc difficile de réaliser dans un gazogène à la fois un bon rendement en huiles et en gaz.

Si l'on voulait fabriquer du gaz à l'eau selon la formule



la température serait encore plus défavorable (1200 à 1400°).

Le rendement thermique d'un gazogène ordinaire est donc peu élevé.

Il se dégage en effet une grande quantité de vapeur d'eau dont la condensation gaspille beaucoup de chaleur. La marche est d'ailleurs difficile surtout avec des combustibles à forte teneur en cendres donnant des blocs de mâchefers que les grilles mécaniques ne parviennent pas à réduire.

Malgré ces inconvénients et leurs prix, ces installations ont été très en faveur en Allemagne, ce qui s'explique par le prix extrêmement bas de la tonne de lignite, et par le prix de vente relativement élevé de l'énergie électrique.

#### Gazogènes allemands à récupération de sous-produits. —

Les gazogènes allemands ont été combinés pour la récupération des sous-produits. Ceux-ci, c'est-à-dire les goudrons, sont alors des produits intermédiaires entre le goudron primaire des carbonisations à basse température et le goudron des usines à gaz et des cokeries : d'où une défaveur peut-être passagère de ces appareils.

Théoriquement, le lignite y serait soumis à une température croissante au fur et à mesure de sa descente dans la cuve : il séjourne assez longtemps dans les zones intéressantes pour que son goudron puisse distiller complètement sans être soumis à une température susceptible de le désorganiser.

Pratiquement, le gaz sort à 700-800°, température à laquelle le goudron primaire est altéré; en outre, l'oxygène en excès *transforme une partie des paraffines en créosotes*. Le séchage du lignite se fait un peu aux dépens du goudron qui brûle. On peut évidemment dessécher le lignite à un maximum de 30 pour 100 d'humidité, dans un séchoir

spécial à vapeur dont la vapeur est injectée ensuite sous la grille du gazogène, mais il vaut mieux alors traiter le produit séché dans une cornue de carbonisation.

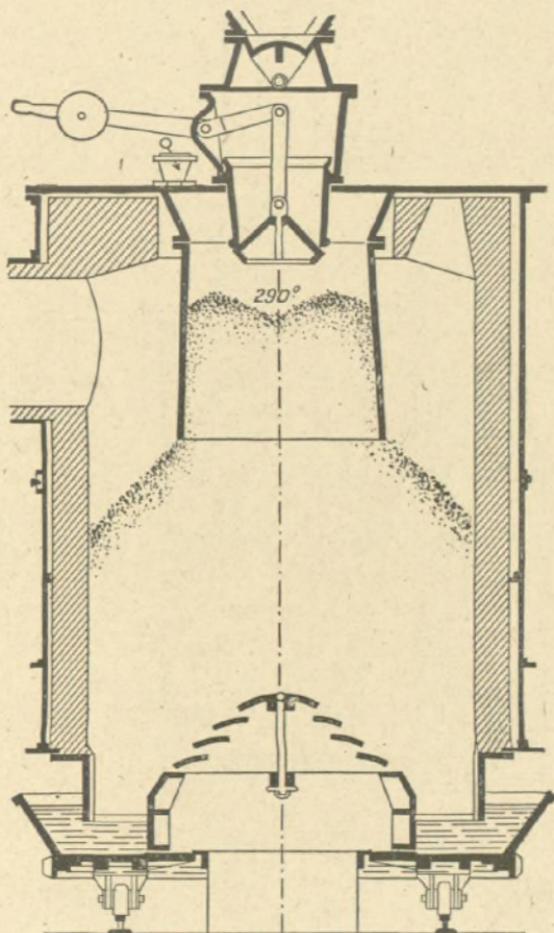


Fig. 39. — Gazogène Mond.

Le gazogène *Mond* (fig. 39) donne 7 pour 100 de goudron avec des *charbons gras*, mais nous ignorons les rendements

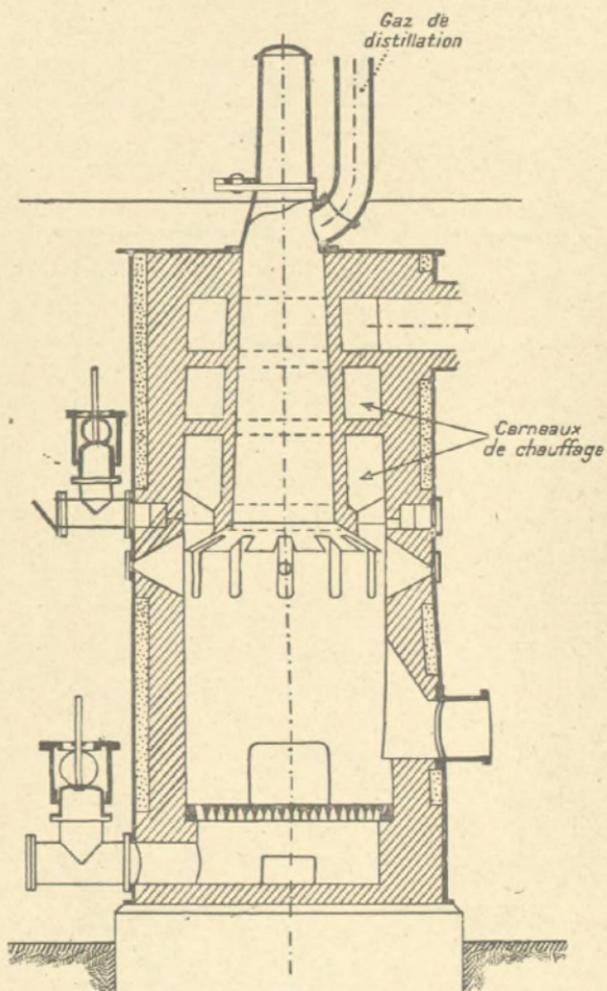


Fig. 40. — Gazogène double gaz.

avec différents lignites : la température dans la zone de carbonisation serait de 300 à 470° dans l'axe, 450 à 710° le long des parois.

La condensation du goudron paraît difficile. On a abandonné les épurateurs centrifuges de Theisen qui n'étaient pas très efficaces et qui consommaient beaucoup d'énergie, on est revenu aux tours de lavage qui ne laissent à 80-90° que 0g,5 de goudron par mètre cube de gaz. La décantation du goudron doit se faire à chaud et en mouvement, la déshydratation serait difficile lorsque le gaz renferme des poussières.

Le *gazogène double gaz* (fig. 40) recueille un mélange de gaz ordinaire et de gaz à l'eau que l'on débarrasse de son goudron et de son ammoniacque par les méthodes usuelles.

On souffle, alternativement, de l'air chaud pendant 1 à 2 minutes, puis de la vapeur pendant 6 à 8 minutes. Le courant de vapeur donne du gaz à l'eau dont une partie, traversant la chambre de cokéfaction, y abandonne sa chaleur sensible. L'autre partie, à laquelle se joignent les produits de combustion formés lors de la période de soufflage, circulent dans les carneaux qui entourent la chambre de carbonisation, disposée à la partie supérieure de l'appareil. De cette chambre, se dégagent les gaz de distillation d'où l'on extrait les goudrons et l'ammoniacque comme il a été dit ci-dessus.

On charge le combustible toutes les 30 minutes environ et le tout est combiné afin que la cokéfaction soit terminée lorsqu'il arrive à la partie inférieure.

A Gratz, le double gaz est préparé par le lignite styrien. Avec 100<sup>kg</sup> de charbon, on obtient 150<sup>m<sup>3</sup></sup> de gaz à 3300 calories.

Le *gazogène « Trigaz » de Delwick-Fleischer* (fig. 41) a surtout servi à traiter des mélanges de charbons et de lignites rhénans : l'addition de lignite brut qui s'émiette empêche l'agglutination de la houille dans la cuve du gazogène. La houille renfermait à Essen 10 pour 100 de cendres et

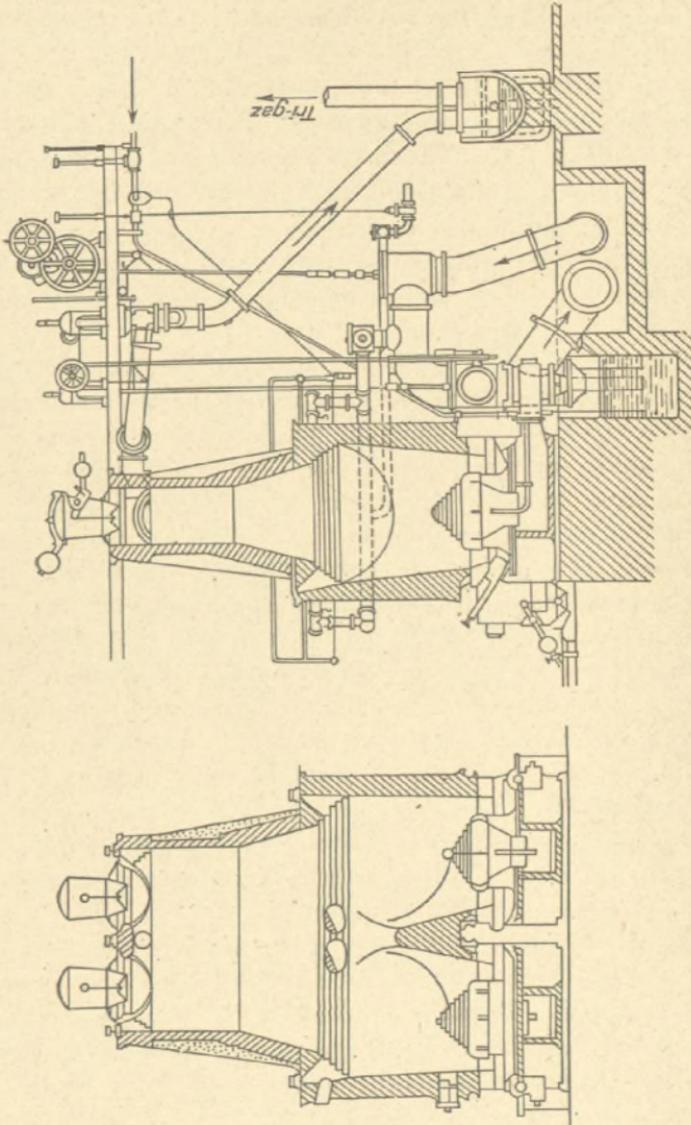


Fig. 41. — Gazogène trigaz.

le lignite 50 pour 100 d'eau. On obtenait, par tonne, 1800<sup>m3</sup> de gaz à 2900 calories et 10 pour 100 d'un goudron primaire qui contenait 3 à 5 pour 100 de paraffine, beaucoup de phénols, pas de benzène, et dont on tirait des huiles excellentes pour moteurs Diesel ainsi que des huiles de graissage de médiocre qualité. Chaque gazogène traite 5 tonnes par jour. L'installation a été faite à la mine Mathias Stinnes en 1918 par la Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg.

Ce gazogène (*fig. 41*) est à grille rotative; il comprend une étroite zone de cokéfaction et une zone de gazéification plus large.

La température s'élève de la trémie à la base pour successivement sécher, cokéfier et gazéfier le combustible. Le soufflage est latéral et s'opère alternativement d'un côté et de l'autre; l'air arrive au point où le coke entre dans la zone de gazéification. Le gaz produit pendant le soufflage est évacué, tandis que, pendant la période d'injection de vapeur, le gaz à l'eau passe dans la chambre de carbonisation où la chaleur qu'il abandonne sert à la distillation.

**Résultats économiques obtenus en Allemagne.** — 1<sup>o</sup> Dans les aciéries où les gaz dégoudronnés servent au chauffage des fours Martin ou des fours à recuire et à réchauffer, on ne récupère que le goudron primaire dont les qualités diffèrent beaucoup d'après les combustibles traités.

Le tableau suivant, extrait de la *Revue de Métallurgie*, donne quelques chiffres. Les goudrons obtenus avec les charbons gras et les lignites contiennent beaucoup de phénols qu'on peut hydrogéner, mais dont la vente directe serait rémunératrice en France.

2<sup>o</sup> Si l'on ne tient pas trop aux goudrons primaires, on peut, comme on le fait souvent en Allemagne, produire du sulfate d'ammoniaque : il suffit de chauffer davantage et d'injecter plus de vapeur d'eau. L'afflux de vapeur ainsi

## PRODUCTION DE GOUDRONS ET RÉSULTATS DE LEUR TRAITEMENT.

Nature du combustible.	Charbon de la Sarre.		Charbon de Haute-Silésie.		Charbon sausitz criblé.		Briques de lignite de l'Allemagne centrale.
	5 à 5,5	6	6 à 7	6 à 6,5	2 à 2,3	10 à 12	
Procédé de gazéification.....	Vergasung. Link.		Mondgas. Vergasung.		avec cornues, aménagé.		Generator A.-G.
1. Production de goudrons (%).	5 à 5,5	6	6 à 7	6 à 6,5	2 à 2,3	10 à 12	

## II. Nature des goudrons :

Poids spécifique à 15°.....	1,104	1,059	1,02 à 1,05	1,012	1,005	0,98
Impuretés séparables mécaniquement.	2,36	2,03	1,3	0,52	0,58	0,40-0,5
Viscosité à 100°.....	59,5	1,69	1,7	66	1,84	70
Distillat (%).....	39,7	33	27	32	68,7	28

## III. — Distillat brut :

Poids spécifique à 15°.....	1,026	1,022	1,023	1,008	0,97
Viscosité à 50°.....	1,41	2	1,8	2,5	2,50
Point d'inflammation.....	108	105	96	112	105
Point de congélation.....	-2	-2	-1		+18
Paraffine a. Quantité.....	1,95	2,8	2,92	3,5	11,8
— b. Point de fusion (%).....	58	51	52	51	51,5
					50 à 51

## PRODUCTION DE COUDONS ET RÉSULTATS DE LEUR TRAITEMENT (suite).

Nature du combustible	Charbon de la Sarre.		Charbon de Haute-Silésie.		Charbon sausitz criblé.		Briquettes de lignite de l'Allemagne centrale.
	Vergasung.	Link, Mondgas.	Vergasung.	Vergasung.	Grille tournante avec non	Gazogène Heller	
Procédé de gazification .....	40	36	37	26	13	28	
Huiles acides (%).....	3,07						
Asphaltes (%).....				8,9			

IV. *Produit donné par le distillat brut après entèvement de la paraffine :*

Huiles légères pour 100.....	25,5	27	30	26,5	24
Poids spécifique .....	0,976			0,9695	0,94
Point d'inflammation .....	89	82	85	95	95
Huiles de graissage pour 100.....	31,4	37	30	3,5	44
Point d'inflammation.....	148°	152	150	179	150
Viscosité à 50°.....	4,97 E	4,9	607	8,5	4 à 5

V. *Propriétés du brai :*

Point de ramollissement .....	100°	76 à 77°	83 à 84	92,5	65
Partie insoluble dans le benzol.....	22,7	12,3	16,7	12,8	15
Cendres .....	1,11	0,72	1,09	0,46	0,6
				Traces	

produit pousse le gaz et empêche la dissociation de l'ammoniaque formé; en outre, l'hydrogène, provenant de la dissociation de la vapeur d'eau, se combine à l'azote du coke pour donner encore de l'ammoniaque. En faisant varier de  $0^{\text{kg}},45$  à  $1^{\text{kg}},55$  la quantité de vapeur injectée par kilogramme de houille dans un gazogène Mond, le rendement en sulfate d'ammoniaque est passé de 1,09 à 3,21 pour 100, mais le rendement thermique du gazogène diminue de 0,7 à 0,6. On insufflerait actuellement  $2^{\text{kg}},5$  de vapeur par kilogramme de houille et le rendement serait de 0,55.

On voit qu'il n'y a pas d'intérêt à pousser trop loin la récupération de l'ammoniaque; d'une part, l'injection de vapeur vive abaisse le rendement en gaz des gazogènes; d'autre part, le rendement en goudrons est diminué. Il faut choisir : cela dépend des prix de vente respectifs des deux produits, lesquels dépendent, dans une certaine mesure, de l'offre et par conséquent de la production.

Ce que nous disons des houilles s'applique aux lignites pour lesquels nous n'avons pas les chiffres, mais nous avons déjà signalé la même antinomie entre les principes nécessaires à la récolte maximum de goudrons et à la récupération optimum de l'ammoniaque. Il est vrai qu'il s'agit ici d'appareils dont l'objet principal est de produire des gaz, fabrication qui s'exerce déjà aux dépens des goudrons.

**Autres gazogènes.** — Les dispositifs de gazéification ne manquent pas et nous pourrions nous étendre beaucoup sur cette question. Nous ne citerons que quelques dispositifs.

Le constructeur belge *Evence Coppée* propose, pour les combustibles cendreux, ayant plus de 1 pour 100 d'azote et exploités dans un endroit où l'énergie électrique est utilisable, un dispositif de gazéification muni d'ailleurs d'une cornue de carbonisation; mais si le lignite contient des huiles et s'il est possible de briqueter le semi-coke, il vaut mieux

carboniser seulement. Cette firme a remplacé son premier four rotatif de carbonisation par un four muni d'agitateurs

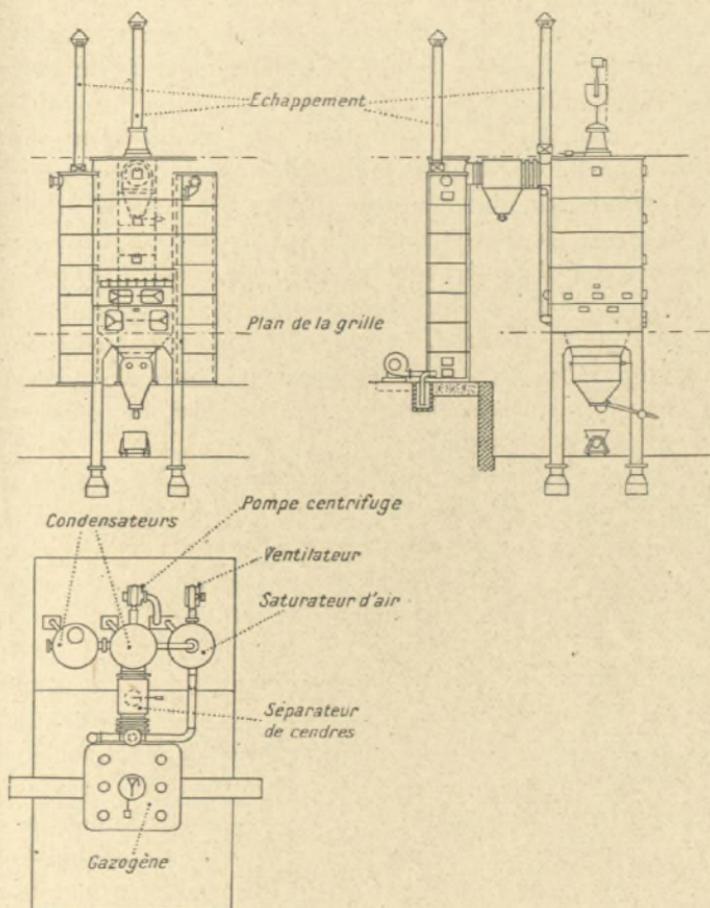


Fig. 42. — Gazogène Bartolomeis.

à palettes transporteuses qui est chauffé *intérieurement*, ce qui augmente le rendement thermique, éloigne les parois du four des parties les plus chaudes, sans donner, croyons-nous, des huiles d'excellente qualité : si l'on y rencontre

des huiles propres au graissage (viscosité de 10 à 20° Eugler), ce qui est bien, on récolte peu d'huiles légères et assez peu de paraffine, d'après la déclaration du constructeur que « l'extraction de la paraffine n'est avantageuse qu'à partir d'un traitement de 50 tonnes de goudron par 24 heures ».

La firme allemande *J. Pintsch*, à laquelle on doit le premier gazogène à récupération par modification d'un ancien type qui distillait le combustible avant de le gazéifier, a fait breveter un nouveau dispositif qu'elle vient d'installer à la centrale de Berlin-Lichtenberg; il consiste à annexer au foyer d'une chaudière un générateur de goudron, alimenté par exemple à l'aide de briquettes de lignite pour donner 5 pour 100 de goudron, et qui décharge continuellement son semi-coke sur une grille mécanique, les gaz non condensés provenant de la carbonisation étant consommés dans un brûleur sous la chaudière.

En Italie, l'ingénieur *Remo de Bartolomeis* a imaginé un gazogène avec agitateur à palettes et saturateur d'air (*fig. 42*) qui a donné des résultats satisfaisants avec le lignite du Val Gaudino, tenant 46 pour 100 d'humidité et dont la partie sèche contient 34 pour 100 de cendres.

**Four Pieters.** — M. J. Pieters s'est efforcé de réunir tous les perfectionnements nécessaires à la production de la plus grande quantité de sous-produits : huiles, gaz, benzol, ammoniacque, etc. Dans une première opération, il carbonise les lignites pour avoir le goudron primaire; il pousse ensuite le chauffage pour récupérer l'ammoniacque et le benzol, enfin il traite le semi-coke au gazogène pour fabriquer du gaz.

Nous avons vu que le rendement en huiles est maximum pour chaque lignite à une température déterminée relativement modérée (cela dépend d'ailleurs de l'appareil de distillation). Dans certains cas l'injection de vapeur d'eau dans les cornues favorise l'extraction des huiles.

Le rendement en gaz, en ammoniacque et en benzol augmente au contraire avec la température, aux dépens du rendement en huiles et en coke.

M. J. Pieters a déterminé ainsi, en conséquence, les conditions du traitement *optimum* :

1<sup>o</sup> Le chauffage doit être lent et progressif jusqu'à 500° environ (carbonisation à basse température);

2<sup>o</sup> Ce chauffage doit ensuite être poussé jusqu'à 800° environ, si l'on veut récupérer l'ammoniacque et le benzol;

3<sup>o</sup> Il faut empêcher que les vapeurs qui distillent à basse température ne viennent lécher les parois surchauffées où elles se décomposeraient; leur mélange avec les gaz produits à température élevée n'offre, au contraire, aucun inconvénient, car ces gaz ont une température nettement inférieure à celle des parois contre lesquelles ils se sont formés, et leur masse est insignifiante relativement à celle des gaz et de la vapeur d'eau dégagés à basse température;

4<sup>o</sup> Pour éviter la surchauffe par contact avec les parois, le four doit être assez étroit, de sorte que *dans une même section horizontale* les différences de température entre le centre et la paroi soient aussi faibles que possible : le poussier de lignite étant beaucoup moins conducteur que le coke de charbon, il en résulte que les fours à lignite devront être particulièrement étroits (nous avons vu que cela était le souci de beaucoup d'inventeurs et que cette condition a été particulièrement bien réalisée dans le four Tozer);

5<sup>o</sup> Un moyen d'empêcher la surchauffe, c'est d'assurer continuellement le remplissage du four afin qu'il n'existe aucune portion non couverte de lignite, qui puisse ainsi être portée à une température excessive; cette condition peut être réalisée en plaçant le lignite en charge sur une hauteur convenable au-dessus du four;

6<sup>o</sup> L'uniformité du chauffage dans les différentes tranches horizontales est indispensable : ainsi pour ne pas avoir d'incuits qui réduiraient le rendement, on n'est pas obligé

de surchauffer certaines portions qui décomposeraient les vapeurs produites. Il semble d'ailleurs qu'il vaudrait encore mieux répartir uniformément la température, non dans les différentes sections, mais *dans tout le four*.

La réalisation d'un chauffage uniforme est donc extrêmement importante.

M. Pieters recommande les canaux droits où l'on peut s'assurer « par un simple coup d'œil » de l'uniformité du chauffage; il pense qu'il suffit d'ailleurs de pouvoir faire cette vérification, au niveau inférieur et au niveau supérieur de la zone de chauffage à l'aide de canaux *ad hoc*.

Pour remédier à temps, au défaut que l'on pourrait ainsi constater, il suffit qu'on puisse régler l'admission des gaz combustibles en chaque point du canal inférieur appelé « canal de combustion » et que l'on puisse répartir les gaz brûlés dans chacun des canaux verticaux de la paroi de chauffage.

Si ces canaux étaient horizontaux, le contrôle du chauffage serait plus facile, car la température dans chacun d'eux serait uniforme pourvu que leur longueur ne fût pas excessive, mais il serait compliqué de construire avec solidité la paroi de chauffage, d'assurer l'étanchéité et de ne pas créer une résistance considérable à l'écoulement des gaz.

Ces dernières conditions sont réalisées facilement au contraire, à l'aide de carneaux verticaux dont le réglage et le contrôle ne sont pas impossibles. Cette solution a été adoptée dans les fours à coke et nous ne voyons que des avantages à l'appliquer aux fours verticaux pour le traitement du lignite.

Les lignites à forte teneur en eau doivent d'ailleurs être gazéifiés, carbonisés ou distillés dans des fours particulièrement bien conçus afin de réaliser le meilleur rendement thermique : il paraît indispensable pour l'économie du procédé que la chaleur des gaz dégagés pendant les opérations elles-mêmes suffise au chauffage des fours.

M. J. Pieters (1) a d'ailleurs calculé comme suit la quantité de chaleur nécessaire au chauffage d'un four *parfait*.

Cette quantité comprend évidemment :

- 1° La chaleur de vaporisation de l'eau vers 100°, température d'évacuation;
- 2° La chaleur emportée par les gaz de distillations à la même température;
- 3° La chaleur emportée par le semi-coke résiduaire à une température qui excède peu la température extérieure;
- 4° La chaleur perdue par rayonnement, soit 20000<sup>cal</sup> par tonne de lignite dans un four bien construit;
- 5° La chaleur emportée par les gaz brûlés à 100°.

On peut négliger la chaleur de distillation.

La perte de chaleur la plus importante est celle qu'emportent les gaz brûlés : si la température de combustion est 700° et si l'évacuation se fait à 100°, on perd  $\frac{1}{7}$  des calories. Il faut donc augmenter la température dans la chambre de combustion et diminuer la température des gaz à leur départ.

Le gaz riche de lignite, 3000 à 4000<sup>cal</sup>, permet d'atteindre de 1000 à 1100°; on peut d'ailleurs éviter la surchauffe en plaçant, en regard des brûleurs, une paroi peu conductrice en maçonnerie; la chaleur contenue dans les gaz brûlés étant ensuite épuisée dans la partie supérieure du four grâce à un développement convenable des carnaux de chauffage à paroi beaucoup plus conductrice, la température des gaz brûlés sera ainsi, au moment de leur évacuation, de 100° au maximum.

La chaleur spécifique des gaz brûlés augmentant avec la température, un tel four perdrait, par la cheminée,  $\frac{1}{11}$  au maximum.

H. J. Pieters, prenant pour exemple un lignite du Gard

---

(1) Voir *L'Usine*, 29 avril 1922, p. 27.

à 22,5 pour 100 d'humidité et 5 à 6 pour 100 de soufre, dont voici l'analyse du combustible anhydre :

Matières volatiles.....	39,5
Coke fixe.....	39
Cendres.....	21,5

dresse ainsi le bilan du four parfait traitant 100 tonnes par jour :

	cal
Vaporisation de l'eau de 0 à 100° : $225 \times 637$ .....	143 325
Chaleur emportée par les gaz à 100° : $0,25 \times 100 \times 250$ .....	6 250
Chaleur emportée par le résidu à 80° : $0,25 \times 80 \times 525$ .....	10 000
Chaleur rayonnée.....	20 000
	<hr/>
Chaleur perdue par la cheminée ( $\frac{1}{10}$ des autres pertes)....	18 007
Total.....	<hr/> 198 082

soit, en chiffres ronds, 200 000 calories.

Ce calcul suppose une production de 250<sup>kg</sup> de gaz et de 525<sup>kg</sup> de coke par tonne.

Or la distillation du lignite en question donne approximativement 200<sup>m<sup>3</sup></sup> de gaz à 3000 calories; une quantité importante serait donc disponible pour d'autres applications.

Les fours allemands paraissent assez loin d'une telle perfection.

La Société Riebert, à Halle-sur-Saale, consomme pour le chauffage tous les gaz et en plus 66 pour 100 du poids du lignite distillé; la Société de Saxe et Thuringe, 80 pour 100.

Il est bien évident qu'il y a de sérieux progrès à envisager. Ces progrès ne sont pas inutiles si l'on songe qu'une telle entreprise est obligée d'extraire et de traiter 200 tonnes, en ne distillant que la moitié environ, tous les frais sont donc doublés.

Comparons par exemple deux installations de 200 tonnes, l'une où il faut, en outre, brûler 60 pour 100 du lignite, l'autre où les fours sont chauffés à l'aide du gaz de distillation, distillé.

Les frais d'installation seront approximativement les mêmes pour les deux installations.

Admettons avec M. Pieters les données suivantes, bien que les valeurs des huiles et du coke nous paraissent sous-estimées.

Prix du lignite brut.....	30 <sup>fr</sup>
Rendement en huiles, par tonne.....	60 <sup>l</sup>
Rendement en coke, par tonne.....	500 <sup>kg</sup>
Valeur moyenne des huiles, le litre.....	0 <sup>fr</sup> ,50
Valeur moyenne du coke, la tonne.....	50 <sup>fr</sup>

Les dépenses annuelles sont équivalentes dans les deux installations, soit :

Prix du lignite : $30 \times 200 \times 300$ .....	1 800 000 <sup>fr</sup>
Main-d'œuvre (30 ouvriers à 20 <sup>fr</sup> ) :	
$30 \times 20 \times 365$ .....	219 000
Frais généraux d'administration.....	100 000
Amortissements (10 pour 100 sur 2 000 000).....	200 000
Total des dépenses.....	<u>2 149 000</u>

Par contre, les recettes annuelles seront :

*Première installation distillant 120 tonnes.*

Goudron.....	$0,5 \times 60 \times 120 \times 300 =$	1 080 000
Coke.....	$0,5 \times 50 \times 120 \times 300 =$	900 000
		<u>1 980 000</u>
Déficit.....		439 000

*Deuxième installation distillant 200 tonnes.*

Goudron.....	$0,5 \times 60 \times 200 \times 300 =$	1 800 000
Coke.....	$0,5 \times 50 \times 200 \times 300 =$	1 500 000
		<u>3 300 000</u>
Gain.....		881 000

M. Pieters s'est donc ingénié à réaliser une installation se rapprochant autant que possible du second type.

Il distille, depuis la température extérieure jusqu'à 800°,

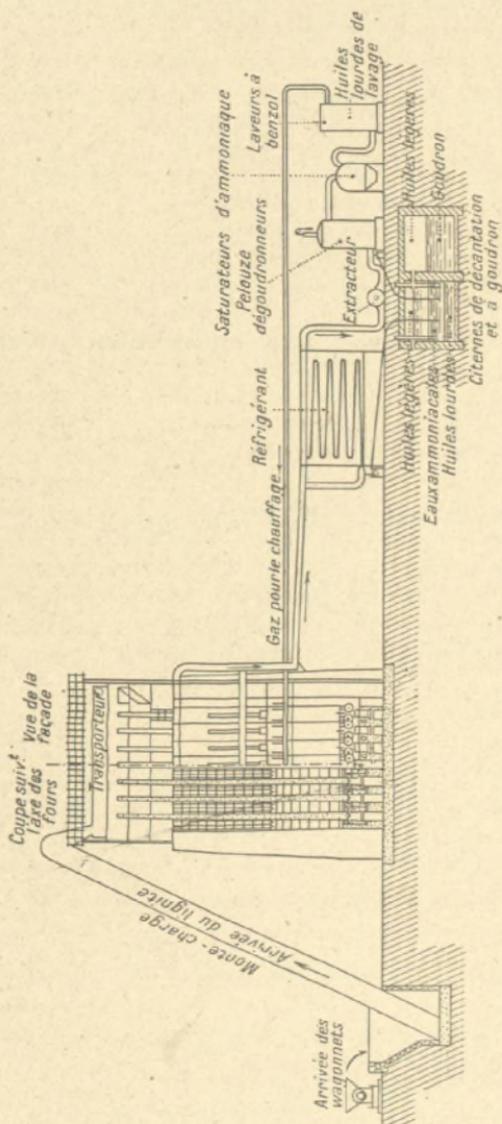


Fig. 43. — Four Pieters.

mais enlève, *au fur et à mesure*, les produits de distillation. Il recueille ainsi successivement les goudrons primaires obtenus à basse température, puis l'ammoniaque et le benzol dont la température de formation est beaucoup plus élevée.

Le four Pieters est représenté figure 43.

Les différents éléments constituant une batterie sont chargés à l'aide d'un transporteur à raclettes.

Le four n'est fermé que par la matière elle-même qui atteint une hauteur convenable au-dessus du four (brevet français n° 484 445), ce qui assure toujours le remplissage complet et constitue un volant pour l'approvisionnement.

L'enlèvement des gaz se fait en deux parties complètement distinctes :

a. La vapeur d'eau et une faible partie des gaz s'échappent à basse température à la partie supérieure;

b. La plus grande partie des gaz et vapeurs de distillation sont évacués le long des parois, au fur et à mesure de leur formation (brevet français n° 515 484).

L'étouffoir du coke résiduaire fait partie du four, de sorte que la chaleur est récupérée par l'air qui sert au chauffage (brevet français n° 484 492). Le coke refroidi est chargé mécaniquement sur des wagonnets (brevet n° 484 492).

Le chauffage se fait uniquement par les gaz produits dans l'opération; la chaleur vive des gaz de combustion est complètement épuisée avant leur départ à l'aide d'un séchoir de grande puissance disposé à la partie supérieure du four.

Le mode de construction paraît assez économique.

En résumé, le four Pieters, très bien étudié, est l'un de ceux qui donnent les meilleures promesses pour l'avenir. Il permet de pousser très loin l'extraction des matières volatiles sans les altérer.

---

---

## CHAPITRE XII.

### LA CARBONISATION A BASSE TEMPÉRATURE.

---

SOMMAIRE. — Définition. — Mérites respectifs des fours. — Conditions générales à réaliser. — Fours verticaux. — Fours horizontaux. — Four tournant de Fischer. — Four Nielsen. — Fours à malaxeurs. — Solutions diverses. — Nouveaux brevets. — Conclusion.

**Définition.** — Qu'est ce qu'une carbonisation à basse température? Cette expression, très souvent employée, n'est pas définie d'une façon précise. On sait seulement que la carbonisation progressive à basse température doit donner le maximum possible en goudrons, huiles et hydrocarbures de bonne qualité.

Deux facteurs principaux influent sur la quantité et la qualité des matières volatiles dégagées : la *durée* de la carbonisation et la *température* à laquelle on opère.

La Commission du Lignite au Congrès des combustibles liquides a été d'avis de distinguer la *carbonisation progressive* de la *pyrogénéation*, opérations conduites toutes deux à basse température, c'est-à-dire à des températures ne dépassant pas 600°.

La carbonisation progressive serait un échauffement assez peu accéléré qui permettrait pratiquement, à chaque température intermédiaire, d'épuiser le combustible, des produits qui distillent à cette température; en outre, condition essentielle, l'échauffement serait convenablement réparti, de sorte que les produits distillant ne rencontrent, en aucune partie de leur trajet, des températures supérieures à celles qui ont provoqué leur dégagement.

Dans la pyrogénéation, au contraire, le combustible serait immédiatement traité en vase clos à une température choisie; chaque particule étant aussi vite que possible, portée à cette température, ce qu'on peut obtenir pratiquement, par exemple, en réduisant ce combustible à l'état pulvérulent et en le plongeant dans une enceinte à température invariable.

Le choix de la température et, dans le premier cas, la rapidité du chauffage doivent faire l'objet d'essais sérieux en laboratoire. A chaque combustible convient sans doute un traitement différent susceptible d'assurer le rendement *optimum*. C'est à ce rendement de laboratoire qu'on pourrait ensuite rapporter le rendement de l'opération industrielle, de sorte qu'on pourrait ainsi contrôler l'efficacité et le bon réglage des appareils employés.

Jusqu'à présent, aucun appareil n'a la sanction d'une exploitation industrielle un peu prolongée, susceptible de guider le choix des ingénieurs.

#### Mérites respectifs des fours. — a. Fours verticaux. —

Nous avons obtenu cependant, en traitant le lignite de Lалуque, des résultats satisfaisants avec la cornue *Tozer* réalisée industriellement et dont nous avons donné la description (p. 16, *fig. 4* et *5*). Ces constatations ont été confirmées au Japon et au Natal (*fig. 44*). Cela peut être heureux pour l'avenir de la carbonisation, car il s'agit de cornues verticales que l'on peut couler assez facilement en fonte et qui s'installent dans des fours verticaux d'un bon rendement, le tout pour un prix modéré avec une grande sécurité d'exploitation due à la simplicité du dispositif. Ce résultat est d'autant plus remarquable que, d'une manière générale, les fours verticaux se prêtent assez mal à la réalisation d'une température uniforme, de sorte qu'on est obligé de pousser trop loin le chauffage pour n'avoir pas d'incuits, ce qui altère les qualités des goudrons. On

sait que, dans les différentes capacités à section annulaire qui forment la cornue Tozer, le combustible est réparti en couche mince facile à carboniser et que, d'autre part, l'équilibre calorifique s'y établit à une température sensiblement uniforme, grâce à la grande conductibilité de la fonte, à sa masse calorifique et aux nervures verticales qui relient les différentes parties de l'appareil. L'altération des vapeurs goudroneuses est d'ailleurs empêchée par suite des facilités d'évacuation des gaz et vapeurs en haut, en bas et par une cheminée centrale. Le grand développement des parois augmente en même temps la surface de chauffe et facilite les dégagements de gaz et de vapeurs, extraits d'ailleurs à l'aide d'une pompe provoquant une dépression convenable. En l'état actuel de la question, cet appareil est sans doute le plus recommandable.

*b. Fours horizontaux.* — Il paraît sans doute plus facile *a priori* d'assurer une température uniforme dans un four horizontal, mais il est difficile d'y empêcher la surchauffe des vapeurs de goudron primaire sans en refroidir la cuve, ce qui causerait une perte de chaleur. D'autre part, le combustible doit être disposé sur la sole en couche assez mince pour éviter les incuits, ce qui diminue le rendement.

*c. Fours tournants ou à malaxeur.* — Il est assez séduisant de disposer un four horizontal tournant ou de munir le four de malaxeurs qui assurent successivement le contact du lignite avec la paroi chaude, de sorte que l'on puisse traiter chaque fois une plus grande quantité de combustible; mais, jusqu'à présent, le prix de ces appareils et d'autres inconvénients que nous examinerons ont empêché leur diffusion.

**Conditions générales à réaliser.** — Le four, ou la cornue, doit avoir une assez grande capacité; la carbonisation, tout en restant progressive, doit durer le moins longtemps

possible afin d'augmenter le rendement et de diminuer les risques d'altération, des vapeurs d'hydrocarbures.

Ces conditions d'économie s'allient malaisément avec la nécessité de disposer le lignite, *mauvais conducteur calorifique*, en mince couche et de ne porter aucune partie de l'appareil à une température où les vapeurs, déjà formées, seraient détruites et transformées en gaz stables et en produits pyrogénés analogues aux goudrons des usines à gaz, c'est-à-dire en produits contenant une quantité importante de brai et peu de paraffines.

Les appareils continus ont été souvent préconisés à cause de l'élégance apparente du procédé, mais ils admettent tous plus ou moins d'air qui altère les produits; leur réglage est difficile et, s'ils exigent normalement peu de main-d'œuvre, il faut entretenir des équipes d'entretien et de réparation bien exercées, car tout accident à un organe peut provoquer l'arrêt d'un ensemble considérable. Tandis que les appareils formés de la juxtaposition d'un ensemble d'éléments discontinus, tels que chaque cornue Tozer, sont pratiquement continus dans leur ensemble : les chargements et déchargements qui peuvent se faire mécaniquement à l'aide d'organes robustes et sûrs pouvant s'opérer successivement de façon à employer continuellement l'équipe chargée de leur exploitation.

Pour juger un appareil, il ne faut pas s'embarrasser de formules et de classifications formelles toujours artificielles. Nous ne nous en servons que pour avoir un cadre commode pour la description d'appareils dont les défauts les plus graves peuvent sauter aux yeux mais dont les qualités réelles ne peuvent être prouvées que par des essais longuement poursuivis.

Un certain nombre de projets peuvent cependant être écartés *a priori*.

Il en est ainsi des cornues verticales simples analogues à celles qui peuvent servir pour la carbonisation du bois.

Le lignite ne tarde pas à diminuer beaucoup de volume, il devient pulvérulent et tombe au fond de la cornue. Les parois derrière lesquelles il n'y a plus de lignite sont portées à une température excessive qui désorganise les goudrons primaires provenant de la masse inférieure. Celle-ci est chauffée très irrégulièrement, car le poussier de lignite est beaucoup moins conducteur que la houille qui ne l'est pas beaucoup. C'est ainsi que, même dans les fours de la Société Low Température, où l'on carbonise à Barnsley la houille en couche mince (75 à 100<sup>mm</sup> d'épaisseur), si l'on divise le coke résiduaire dit « coalite » formé, en quatre tranches verticales d'égale épaisseur, le morceau le plus rapproché de la paroi ne renferme plus que 10 pour 100 de matières volatiles, tandis que le morceau le plus éloigné en contient 13,5 pour 100. Dans une cornue verticale ordinaire, on a des *incuits* au centre, alors que les parties voisines de la paroi sont surchauffées. Aucun four vertical, sauf peut-être le four Tozer, n'échappe à cet inconvénient, encore faut-il pomper les vapeurs pour éviter leur contact prolongé sur les parois chaudes dans les parties supérieures vides de la cornue. Le pompage, c'est-à-dire la distillation sous un vide relatif, nous paraît d'ailleurs indispensable pour obtenir, en tout cas, une bonne extraction des produits goudronneux primaires, contenant la plupart des produits de valeur.

Tout procédé dans lequel la largeur des chambres de carbonisation n'est pas très réduite, n'est donc pas recommandable. On y fera, aux dépens des goudrons, une quantité insuffisante de gaz, car si l'on veut du gaz, il faut chauffer beaucoup (jusqu'à 1200°) et vite, tandis que si l'on recherche les goudrons de bonne qualité, il faut chauffer relativement peu (450 à 600° maximum) et progressivement. On peut dans des cornues de très grande hauteur, en combinant la carbonisation à basse et à haute température par un chauffage progressif, diminuer les défauts de la cornue

verticale simple. Cependant, dans un essai que nous avons contrôlé, nous n'avons obtenu que le tiers des goudrons que l'on pouvait récolter au laboratoire.

Il ne suffit pas de carboniser en couche mince et d'assurer l'évacuation des gaz, au fur et à mesure de leur production; il faut encore que le rendement thermique du four soit convenable pour ne pas brûler inutilement une grande quantité de combustible; il faut en outre que l'installation des appareils ne coûte pas trop cher. Cela ne suffit pas encore, il est indispensable que l'opération ne dure pas trop longtemps, non seulement parce qu'il faut rechercher le meilleur rendement journalier, mais encore et surtout parce que les vapeurs produites s'altèrent par destruction des hydrocarbures lorsque l'opération se prolonge.

**Fours verticaux.** — Nous avons déjà décrit :

Le four Rolls employé à Weissenfels;

Le four continu Pieters;

Le four de la « Low Temperature Carbonisation L<sup>d</sup> »;

Le four Tozer à cornues annulaires.

Le four Pieters nous paraît intéressant si l'on veut extraire la plus grande quantité de benzol et d'ammoniaque, mais les cornues Tozer sont des appareils de carbonisation plus aptes à produire des goudrons de bonne qualité en abondance et à laisser un semi-coke *contenant encore beaucoup de matières volatiles* et facile à utiliser : dans un gazogène, dans des foyers pour combustibles pulvérisés ou pour la fabrication d'excellents agglomérés, charbon sans fumée recommandable pour le chauffage domestique.

Quant aux gazogènes allemands à récupération de sous-produits, ce sont surtout des appareils à gaz; leur goudron est visqueux chargé de poussières et de brai, et il ne semble pas qu'on soit parvenu à soutirer, sur la masse principale de gaz, la partie chargée de goudron, à l'aide d'une prise

auxiliaire. Il est malaisé aussi d'en extraire les essences. Si, par tonne de lignite sec, il y a 7<sup>kg</sup>,5 d'essences, on produit en même temps, 3000<sup>m</sup>3 de gaz, de sorte que chaque mètre cube ne contient que 2<sup>g</sup>,5 d'essences trop diluées pour qu'on puisse les extraire; tandis que le lavage des gaz est facile dans les installations de carbonisation parce que chaque mètre cube de gaz contient jusqu'à 60<sup>g</sup> d'essences.

**Fours horizontaux.** — Les gazogènes à récupération tendent d'ailleurs à être remplacés en Allemagne par les fours tournants de Fellner et de Ziegler qui sont des fours horizontaux.

Le plus simple des fours horizontaux est un four à sole sur laquelle on place le lignite en mince couche; le chauffage étant assuré par un gazogène, les brûleurs sont régulièrement répartis au-dessous et à proximité de la sole. On les règle de façon que la température sur la sole atteigne la valeur la plus convenable pour le combustible traité.

Pour éviter la dépolymérisation des hydrocarbures qui se dégagent, on opère une légère dépression et l'on refroidit la cuve du four par une légère circulation d'air. On pourrait aussi bien disposer au-dessus de cette cuve le combustible humide dont on commencerait ainsi la dessiccation.

Nous avons assisté aux essais d'un four de ce genre établi pour des expériences de carbonisation et nous avons enregistré un très haut rendement en goudrons de bonne qualité.

On pourrait donc fonder, sur ce principe très simple, des installations d'un bon rendement thermique et d'un haut rendement en goudrons.

L'inconvénient de ce dispositif, c'est la place importante qu'il nécessite; les frais d'installation sont moins élevés cependant que pour les fours tournants.

**Four tournant de Fischer.** — L'application du four tournant à la carbonisation est pourtant séduisante. La rotation

du cylindre renouvelle continuellement les particules de lignite qui sont au contact de la paroi chauffée, de telle sorte qu'on peut carboniser sous une épaisseur plus grande, ce qui augmente le rendement de l'opération.

Le four ne doit cependant être rempli qu'au quart de son diamètre environ, si l'on veut que toute la masse du lignite puisse successivement venir au contact de la paroi chaude; l'espace laissé libre est d'ailleurs nécessaire pour le cheminement des produits dégagés.

Le rendement de l'appareil n'est pourtant pas encore très considérable.

Un cylindre, capable de traiter par jour 70 tonnes de lignite à 20 pour 100 d'eau, doit avoir 20<sup>m</sup> de longueur et 2<sup>m</sup>,50 de diamètre. Le lignite y séjourne 16 à 18 heures, ce qui favorise l'altération des vapeurs goudroneuses primaires, soumises à une température excessive, pendant le long trajet qu'elles ont à parcourir à faible vitesse, dans un espace quatre à cinq fois plus grand que celui occupé par le combustible traité. On est obligé d'y parer, dans une certaine mesure, en injectant de la vapeur d'eau; ce qui est une dépense immédiate supplémentaire à laquelle il faut ajouter l'extension qui en résulte pour les appareils de condensation.

D'ailleurs l'installation coûte cher; le four tournant capable de traiter 70 tonnes par jour pèse 100 tonnes. On peut penser qu'une usine comprenant des fours pour traiter 300 tonnes avec les appareils de récupération coûterait 8 millions. Les frais d'entretien de ces appareils tournants doivent être aussi d'une certaine importance.

D'autre part, un four Fischer, étant chauffé de l'extérieur, il est indispensable, pour éviter la destruction des parois en tôle, de ne pas dépasser la température de 800° aux brûleurs, ce qui oblige à brûler les gaz produits par le gazogène avec un grand excédent d'air, on abaisse ainsi aux environs de 50 pour 100 le rendement thermique du foyer.

**Four Nielsen.** — M. Nielsen a imaginé un procédé dit « à chaleur sensible » et qui a pour but d'éviter cette perte et de récupérer la chaleur que le gaz mixte de gazogène emporte au dehors, chaleur qui représente en moyenne de 14 à 18 pour 100 du pouvoir calorifique du combustible qui lui a donné naissance.

Il suffit de mettre en contact direct, à l'intérieur du four rotatif, le gaz produit par le gazogène de chauffage avec le combustible à carboniser.

Cette installation est surtout avantageuse lorsqu'il s'agit de chauffer certains fours comme les fours métallurgiques, car le mélange du gaz pauvre de gazogène avec le gaz de distillation donne un gaz dont le pouvoir calorifique est de 4000 à 6000 calories suivant le combustible traité.

Le goudron recueilli est abondant, mais un peu lourd et altéré.

Un four rotatif, capable de traiter 100 tonnes de combustible, est essentiellement constitué par un four rotatif de 30<sup>m</sup> de long et de 2<sup>m</sup>,50 de diamètre intérieur, dont la paroi est revêtue de deux calorifuges superposés, l'un en briques réfractaires de 225<sup>mm</sup>, l'autre en matériaux isolants de 75<sup>mm</sup>. Un moteur de 40 CV suffit pour la rotation.

Trois gazogènes, dont deux alimentent des chaudières à vapeur, produisent le gaz pauvre et la vapeur nécessaires; ils sont alimentés par le combustible constitué par le résidu de la carbonisation. Le lignite est distribué dans le four par une trémie. Le mélange de gaz pauvre et de gaz de distillation passe : dans une série de condenseurs de goudron, dans une batterie de laveurs à l'huile où l'on récupère les essences, puis dans un laveur à eau.

Le rendement thermique de ce dispositif est convenable, mais les goudrons sont altérés.

**Fours à malaxeurs.** — On a pensé que, pour éviter cette altération, il convenait de diminuer :

Le temps du séjour du combustible et des gaz dans la cornue.

Le volume abandonné aux gaz et vapeurs et par conséquent le diamètre du four, ce qui accélère l'évacuation.

Il en résulte d'ailleurs une modération de la dépense de force motrice.

Le four à malaxeur le plus recommandable est le four imaginé par M. *Pierre Salerni* et qui fait l'objet du brevet déposé le 16 février 1922 par cet inventeur.

Un élément de ce four comprend une cornue cylindrique horizontale en tôle, chauffée à la partie inférieure par le gaz de distillation dépouillé de ses essences et de ses huiles. Suivant l'axe du cylindre, un arbre sur lequel sont clavetés des râteaux malaxeurs tourne lentement.

Ainsi le combustible, se trouvant malaxé, distille d'une manière uniforme, rapide et aussi complète que possible. Le dégagement des vapeurs goudroneuses s'opère assez vite pour éviter les décompositions pyrogénées.

Le raclage des parois de la cornue par les râteaux-malaxeurs empêche la formation de dépôts calorifuges sur la paroi inférieure de la cornue.

M. Salerni accole parallèlement les uns aux autres une série de ces éléments, de telle sorte que deux cylindres voisins aient deux génératrices communes entre lesquelles rien ne s'oppose à l'intercommunication. Il en résulte que la paroi inférieure de chauffe se compose d'une série d'augets cylindriques à axes horizontaux parallèles dont l'ensemble forme une sole ondulée; les râteaux, disposés suivant les axes, assurent, non seulement le malaxage comme il a été dit, mais font passer à chaque tour une petite quantité de combustible d'un auget dans l'autre. Une trémie distribue le lignite dans le premier auget où la température est assez basse; l'auget suivant, chauffé davantage, pousse plus loin la distillation et ainsi de suite, la chaleur croissant d'un auget à l'autre, de sorte qu'au fur et à mesure que

le lignite s'épuise, le semi-coke est soumis à un traitement thermique plus énergique. Comme les vapeurs ne séjournent pas au-dessus de la matière et que les orifices d'évacuation sont disposés en plusieurs endroits à la partie supérieure du four, il n'y a pas de décomposition pyrogénée et, en outre, on peut recueillir séparément des produits qui se trouvent déjà un peu séparés par suite des différentes températures auxquelles ils ont été formés. Le remplissage de l'appareil est maintenu constant.

Ainsi la carbonisation s'opère en mince couche, très uniformément, très vite mais progressivement, c'est-à-dire dans les meilleures conditions. On peut régler le malaxage, la progression du chauffage et par suite la durée de l'opération suivant les qualités du lignite.

Il ne reste qu'un point délicat, la réalisation des organes malaxeurs; l'étanchéité entre les axes, leurs coussinets et les parois latérales des éléments; la commande mécanique de l'ensemble. Il semble que tous ces petits problèmes seront assez facilement résolus. D'ores et déjà les appareils ne s'engorgent jamais et peuvent tourner sous l'influence d'une force motrice très modérée.

Les inventeurs pensent réaliser des appareils capables de traiter 100 tonnes de lignite par jour et dont les cornues ne pèseraient pas plus de 30 tonnes.

Ce procédé paraît avoir les plus grandes chances de succès.

**Solutions diverses peu recommandables.** — Nous allons maintenant examiner un certain nombre de propositions pour indiquer les graves inconvénients qui résulteraient de leur application.

Nous trouvons, tout d'abord, un certain nombre de constructeurs qui croient pouvoir appliquer aux lignites les fours à coke ou à gaz de houille qu'ils possèdent. Ce sont des fours continus à cornues verticales qui ne diffèrent souvent entre eux que par des détails : Woodall-Duckham;

Glova-West; Verdier et Teulon; A. Little; Lewes; Aerts; Potter; Martin et Meitzler; Aylswarth; C. Westphal, etc.

Tous ces fours sont à rejeter, le départ des produits se fait à trop haute température au contact de parois surchauffées et le rendement en sous-produits est très médiocre. Nous n'insisterons pas sur les frais exorbitants de l'installation et du chauffage, qui se justifient dans les usines à gaz de houille vendant fort cher leurs produits, mais qui ne sont pas acceptables pour le traitement des lignites.

Un certain nombre d'autres fours sont destinés au traitement de la tourbe, ce sont :

Les fours de *Oberbayerische Koskwerke* et de la Société *Hannoversche Maschinenbau* sont circulaires et présentent, pour faciliter le dégagement des gaz, un dispositif de « jalousies », c'est-à-dire de lames parallèles inclinées : l'inconvénient, c'est que les gaz et vapeurs se forment d'abord et tendent à cheminer ensuite le long des parois chauffées; or, dans ces fours, le chauffage se fait par l'enveloppe extérieure réfractaire. Aussi le rendement thermique des fours de ce système employés en Allemagne n'est-il pas très satisfaisant.

Le four *Ziegler* est vertical à section circulaire; il est chauffé à l'aide de canaux circulaires superposés. Le coke est refroidi d'abord par l'air destiné à la combustion, puis dans des étouffoirs spéciaux.

Dans le four américain *Bremer*, le chauffage s'opère par carneaux verticaux; les réservoirs de chargement, étant entourés d'une circulation extérieure de gaz brûlés, servent de sécheurs.

Le four *Laurent* ressemble à un four à gaz à cornues inclinées; mais la matière, au lieu d'être contenue dans les cornues, circule à l'extérieur, tandis que les gaz de chauffage passent à l'intérieur, ce qui permet de réaliser un système continu.

Tous les fours de cette seconde catégorie ont, plus ou moins, les inconvénients suivants :

La surface de chauffe est insuffisante si l'on veut limiter convenablement la température de combustion, le rendement du foyer ne dépasse pas beaucoup 50 pour 100.

Les pertes de chaleur par rayonnement, ainsi que la perte par le résidu, sont trop grandes.

Les prix d'installation et d'exploitation sont élevés, surtout en regard du rendement insuffisant en sous-produits.

Car ces fours manquent généralement d'étanchéité et sont difficiles à régler à la température la plus convenable. A la fin de la carbonisation, il arrive que la matière ne remplisse plus qu'un quart de la capacité du four; on juge quelle surchauffe il peut en résulter pour les vapeurs goudroneuses qui se répandent dans la capacité restant libre.

Certains procédés pourraient d'ailleurs être améliorés à la suite d'essais pratiques qui accuseraient leurs déficiences auxquelles on pourrait ainsi remédier; car la réalisation, c'est-à-dire : le choix des matériaux et des dimensions; les registres de réglage; la disposition des carneaux; les dispositifs de chargement du lignite et de captation des gaz, ont une très grande importance sur le rendement.

C'est donc à titre d'information que nous allons terminer ce Chapitre par l'examen de quelques brevets récents.

**Nouveaux brevets.** — Le souci d'éviter les décompositions des vapeurs de goudron, par contact direct de ces produits avec les parois chauffantes, a guidé MM. *Hennebutte* et *Goutal* qui proposent d'employer, pour la carbonisation, des récipients annulaires dont la paroi intérieure, formant conduit central, est *perforée*; récipients qui se placent dans une cornue munie d'un fond conique avec tubulure d'éva-

euation, au point le plus bas pour les produits liquides et gazeux et tubulure supérieure pour l'échappement des gaz.

Le récipient ou panier ayant été garni de combustible plus ou moins humide, on y introduit un obturateur cylindrique et l'on place le tout dans un séchoir-étouffoir qui sert alternativement d'étouffoir, accumulateur de chaleur, et de chambre de déshydratation.

Après dessiccation de la matière, le panier est transporté dans la cornue ou four de carbonisation; l'obturateur est enlevé et remplacé par un couvercle : plein, si l'on veut distiller *per descensum*, ou annulaire, si l'on veut distiller à la fois *per ascensum* et *per descensum*, ce couvercle n'étant pas d'ailleurs indispensable.

Pour défourner, on ouvre la cornue, puis on introduit, dans le cylindre perforé, un tampon inférieur; on place le couvercle plein sur le panier et l'on transporte ce dernier dans l'étouffoir-séchoir dont on ferme le registre d'arrivée des gaz chauds, lesquels ne servent que pendant la période de séchage. Le combustible, protégé ainsi du contact direct de l'air, cède ses calories aux parois de l'étouffoir qui les rendront dans l'opération de dessiccation déjà vue.

On peut aussi employer des cornues horizontales contenant une série de paniers mobiles dont les cylindres perforés intérieurs, légèrement coniques, s'emboîtent les uns dans les autres; ces paniers, portés sur wagonnets, sont introduits successivement dans les fours et appareils étouffoirs et de déshydratation.

Ce dispositif paraît plus recommandable pour la distillation des bois que pour celle des lignites.

*E. Goutal* et *H. Hennebutte* (brevet du 2 juillet 1920) proposent aussi de gazéifier les lignites par étages, ce qui permettrait de capter les produits à des températures définies.

Dans la réalisation, ils envisagent une étape acide exo-

thermique à température *modérée*, une étape basique à température *moyenne*, une étape neutre ou gazeuse endothermique à température *élevée*. Les produits pyrogénés seraient recueillis séparément, mais la récupération calorifique pourrait s'effectuer par contact entre les produits gazeux ou vaporisés provenant d'étapes différentes.

Nous ne connaissons d'applications ni à ce brevet ni au précédent.

G. Polysius (brevet du 11 janvier 1921) propose de carboniser à basse température en cornue rotative chauffée, extérieurement au début de l'opération, intérieurement ensuite par un courant gazeux emprunté à la cornue elle-même et circulant en circuit fermé.

Les gaz et vapeurs dégagés arrivent à un dispositif de condensation. Les gaz refroidis sont refoulés sous pression dans le puits où se rassemble le coke brûlant, sortant de la cornue. Ainsi, d'une part, le coke est refroidi et, d'autre part, le courant gazeux ramène dans la cornue la chaleur qu'il récupère.

Cette récupération n'est pas le seul avantage du procédé : la circulation des gaz chauds à l'intérieur de la cornue paraît susceptible de régulariser la température et d'éviter les surchauffes.

Une soupape est ménagée sur le tuyau aboutissant au puits à coke, de manière à éliminer le gaz en excès du circuit gazeux général.

La cornue est pourvue d'un appareil mécanique d'évacuation qui conduit le charbon brûlant dans le puits.

M. Hugo Lentz a proposé, pour la semi-carbonisation, un four dans lequel le combustible passe sur des surfaces de chauffage inclinées, disposées en gradins et réunies par des registres tournants qui permettent de régler le passage du combustible d'un gradin à l'autre.

Les gaz provenant des carneaux de chauffage traversent les combustibles en dépôt dans un réservoir de séchage.

Plusieurs fours peuvent être disposés l'un derrière l'autre, un servant au séchage, les autres à la gazéification.

M. Ch. W. Tozer a perfectionné ses cornues à chambres verticales annulaires de manière à améliorer la manœuvre du fond qui doit s'ouvrir à la fin de la carbonisation pour laisser tomber le semi-coke.

Les extrémités des chambres annulaires sont arrêtées de façon à présenter la forme générale d'un cône. Un obturateur conique, dont le rebord annulaire s'appuie sur un siège convenable, permet le passage des gaz, des chambres au tube central d'évacuation. Cet obturateur ou faux-fond est relié à la porte proprement dite dont le joint avec l'enveloppe n'a plus besoin d'être étanche. La porte est munie de barres fixées à un arbre qu'on peut manœuvrer par engrenages ou manivelles à la main ou par un piston pneumatique ou hydraulique.

D'autre part, M. Ch. Tozer a disposé, autour de ses cornues, des nervures ou ailettes externes, verticales ou hélicoïdales qui augmentent la surface de chauffe; les nervures hélicoïdales obligeant, en outre, les gaz de chauffage à contourner plusieurs fois la cornue.

Enfin, M. Tozer ménage, dans les cloisons intérieures des chambres, des trous qui facilitent la répartition uniforme et le dégagement des gaz et vapeurs provenant de la carbonisation.

**Conclusion.** — Si la carbonisation des lignites paraît simple, puisqu'il s'agit de chauffer progressivement une mince épaisseur de combustible et d'assurer, au fur et à mesure, l'échappement des vapeurs afin d'éviter leur altération, le grand nombre des systèmes proposés montre bien que l'application de ces principes, que nous avons exposés plus longuement dans les pages qui précèdent, n'est pas très facile, particulièrement lorsqu'il s'agit de traiter des masses importantes.

Des essais préliminaires de laboratoire permettront de

fixer, pour le lignite que l'on veut utiliser, les meilleures conditions de température et de rapidité de chauffe en vue de la récolte maximum des meilleurs produits.

Dans cette recherche préparatoire, on ne devra pas se désintéresser du marché ouvert à ces sous-produits dans la région qui entoure l'exploitation. C'est ainsi que des applications possibles des gaz de distillation au chauffage de fours métallurgiques ou autres, ainsi qu'à la production d'énergie électrique, en passant par l'intermédiaire de moteurs à gaz, pourraient pousser à sacrifier un peu de goudron pour avoir davantage de gaz, en élevant plus vite et plus haut la température du four.

Si les huiles légères sont toujours d'une vente rémunératrice, on peut cependant avoir avantage à rechercher plutôt les paraffines que les benzols; aux cours actuels, la paraffine est plus chère. Or les conditions de fabrication des paraffines, carbures saturés, ne sont pas les mêmes que celles de la production des benzols qui se dégagent surtout à température élevée; les produits légers qui passent d'abord étant plus voisins des essences (de la série des paraffines) que des benzols.

D'autre part, pour obtenir de l'ammoniaque et des benzols, il faut pousser plus loin le traitement thermique, c'est-à-dire épuiser le coke. Il pourra être avantageux de laisser au coke des matières volatiles pour en faciliter l'utilisation dans des foyers à combustibles pulvérisés ou sous forme de briquettes ou de boulets constituant un excellent combustible sans fumée, notamment lorsque les lignites ne sont pas cendreux. C'est actuellement une des applications les plus rémunératrices.

Il ne faut pas oublier d'ailleurs que, si l'on élève le rendement global en produits volatils gazeux ou condensables. lorsque l'on pousse davantage le chauffage, on dépense ainsi plus de lignite dans les appareils de chauffage dont l'installation et l'entretien deviennent plus coûteux.

Il ne suffit donc pas, pour juger un lignite ou un appareil,

d'apprécier le rendement maximum en goudron et en gaz à l'aide d'un appareil de laboratoire; il faut surtout examiner le rendement économique dans un four industriel.

Les frais comprennent : l'acquisition, l'installation, l'entretien, l'exploitation et l'amortissement des appareils; les recettes sont constituées par la vente des sous-produits. Tout compte fait, il peut arriver qu'un appareil peu coûteux, facile à installer, à entretenir, à conduire et à chauffer, mais dont le pourcentage de goudrons n'est pas très élevé, soit préférable à un four qui donne plus de goudron par tonne, mais dont les frais sont excessifs. Il ne suffit pas de dire : cette cornue permet de récolter deux fois plus d'huiles, il faut encore que les dépenses ne soient pas doublées; il faut en outre que l'opération ne demande pas plus de temps. C'est donc le *rendement économique*, c'est-à-dire les bénéfices probables qu'il faut supputer sans se laisser hypnotiser par les pourcentages en sous-produits.

Ce calcul est bien difficile tant que l'on ne se trouve pas en présence d'appareils en fonctionnement normal.

Il y en a fort peu actuellement en France : les fours Pieters aux charbonnages de Millau, le four Salerni à Mailhac, les cornues Tozer à Laluque. Chacun de ces dispositifs a des avantages et l'on doit examiner le lignite avant de choisir le four.

Quant à juger dogmatiquement que les fours horizontaux sont supérieurs aux verticaux ou aux inclinés; que les fours à malaxeurs sont supérieurs aux rotatifs; que les systèmes continus doivent être préférés aux discontinus, nous ne le ferons pas : les facteurs nombreux qui sont à considérer dans une opération de carbonisation ne peuvent tous être réalisés. On doit avoir égard aux qualités du lignite et au marché ouvert à ses sous-produits, simultanément. Chaque réalisation a ses inconvénients et ses avantages : la meilleure est celle où ces derniers l'emportent et les fours verticaux et discontinus peuvent donner un bon

rendement en bénéfices. Il faut remarquer d'ailleurs que la juxtaposition, dans une même batterie, d'un grand nombre d'éléments, équivaut à un système continu, de même que le courant électrique continu n'est que la composante des actions électromagnétiques alternatives dans les bobines des dynamos.

---

## CHAPITRE XIII.

### RÉCUPÉRATION DES SOUS-PRODUITS DE LA CARBONISATION.

---

SOMMAIRE. — Considérations générales. — Condensation primaire. — Extracteurs. — Seconde récolte du goudron. — Lavage du gaz. — Épuration chimique. — Récupération directe du sulfate d'ammoniaque. — Emmagasinage du gaz. — Analyse du gaz. — Récupération des benzols. — Récupération de l'éthylène. — Traitement des goudrons. — Essorage. — Déshydratation thermique. — Déshydratation catalytique. — Distillation dans le vide. — Divers procédés de distillation : Procédé Mallet. Procédé Ettore-Ray. Procédé continu Raschig. Procédé Lenhard. Conclusion. — Produits de distillation des goudrons. — Fabrication du phénol brut. — Fabrication du phénol purifié. — Séparation des crésols.

**Considérations générales.** — Les lignites, carbonisés dans des fours et cornues (*fig. 44*) ou traités dans des gazogènes spéciaux, laissent dans le premier procédé un résidu, le semi-coke, et abandonnent, en tout cas, des gaz et des vapeurs.

On condense les eaux ammoniacales et les goudrons, on lave les gaz pour recueillir les essences et benzols. La distillation des huiles permet ensuite de séparer : les huiles légères, les huiles moyennes plus ou moins phénolées, les huiles lourdes chargées de paraffine, etc. Toutes ces opérations constituent la récupération, elles sont examinées d'une manière générale dans le présent Chapitre (*fig. 45*).

La *condensation* doit être conduite suivant les qualités des huiles à récolter qui dépendent des lignites et de leur mode de carbonisation. Il est facile de condenser, dans des tubes horizontaux refroidis par l'eau, le goudron fluide

qui ressemble aux huiles de pétrole; l'opération devient malaisée quand le goudron est épais, pâteux ou solide; il faut alors user de jeux d'orgue refroidis par l'air pour condenser les goudrons lourds que l'on doit évacuer rapi-

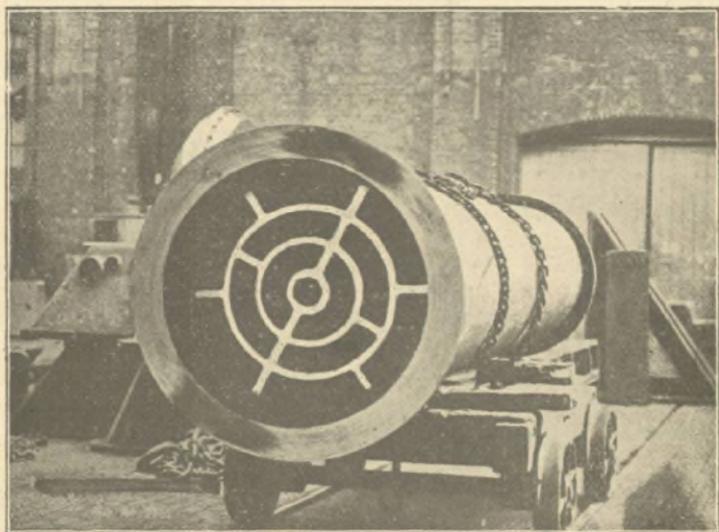


Fig. 44. — Cornue « Tozer » (Usine de Natal).

dement afin de profiter de leur fluidité relative à chaud. C'est ainsi qu'en Saxe, les vapeurs goudroneuses sont dirigées dans des tuyaux métalliques dont les diamètres décroissent de 900 à 250<sup>mm</sup> et qui sont exposés à l'air pour obtenir un refroidissement lent. Mais on emploie souvent des dégoudronneurs à choc ou à barbotage dans lesquels les gaz doivent traverser une couche de goudron à température élevée avant de passer à travers des plateaux-laveurs.

Les gaz dégoudronnés sont débenzolés par lavage ou suivant les méthodes perfectionnées que nous examinons dans le Chapitre suivant (p. 234).

Les *goudrons* sont décantés longuement.

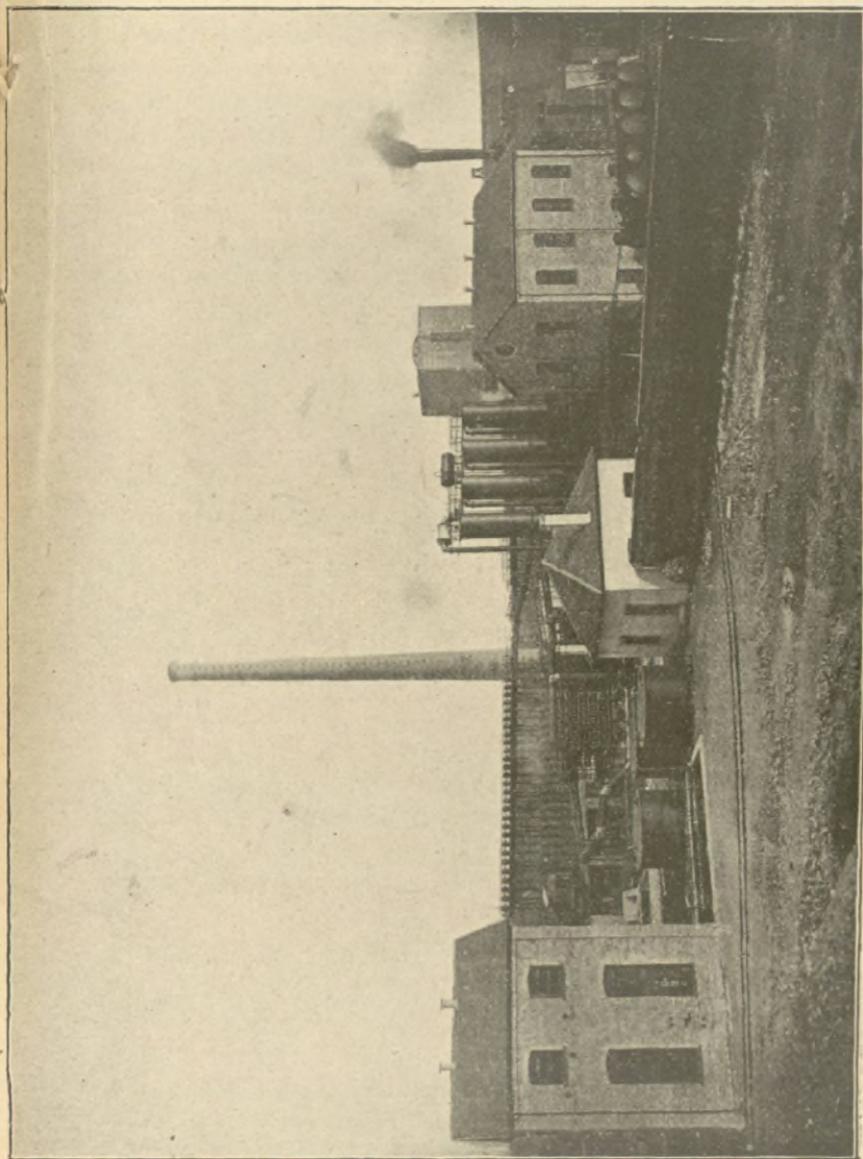


Fig. 45. — Récupération des sous-produits (Usine du Boucau de la C<sup>ie</sup> des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt).

Leur distillation peut se faire dans des appareils chauffés à feu nu, à la vapeur ou par les gaz, en pression ou plus souvent en dépression, par des méthodes discontinues ou par des méthodes continues (chaudières étagées, colonnes à entraînement) ou bien par des méthodes spéciales de catalyse.

Le *vide* est avantageux pour la rapidité et pour éviter la formation de produits pyrogénés; en discontinu on doit le pousser au maximum pour le passage des produits lourds; dans les appareils continus on distille souvent en deux phases : un désessenciement à la pression ordinaire suivi d'une distillation dans le *vide*. A Webau, le *vide* est créé à l'aide d'un koerting qui ne laisse qu'une pression de 20<sup>cm</sup> de mercure au moment du passage des huiles à paraffine.

Les produits sont recueillis séparément en vue de leur raffinage; le fractionnement le plus usuel est le suivant :

Jusqu'à 180°, huiles légères et benzols;

Jusqu'à 230°, huiles phénoliques;

Jusqu'à 300°, huiles lourdes;

Jusqu'à 360°, huiles à vaseline et à paraffine.

Le résidu est un brai ou du coke suivant qu'on a poussé plus ou moins l'opération.

Des *catalyseurs* favorisent la séparation des produits sans décompositions pyrogénées; le plus simple est le charbon de bois ou le coke pulvérulent en quantité notable. Il agit comme absorbant et catalyseur, et diminue l'importance des rectifications nécessaires.

Les rectifications se font généralement suivant la méthode *continue*.

Les *huiles phénoliques* sont traitées par la soude qui dissout la partie phénolée, le reste qui surnage est décanté. On traite ensuite les phénates par un acide; l'acide carbonique est avantageux, car la solution de carbonate de soude qu'il forme, traitée à la chaux, permet la régénération de la

soude caustique. Les phénols formés sont soumis à des rectifications successives; il est souvent indispensable de procéder à plusieurs combinaisons sodiques et décompositions successives afin d'avoir les divers phénols, les crésols et parfois de la créosote, cela dépend des huiles que l'on traite.

Les *huiles lourdes* sont épurées, le silicate de soude est très employé pour cet usage en Allemagne. Les *paraffines* sont séparées par réfrigération, extraites dans des filtres-presses; les gâteaux solides étant ensuite passés à la presse hydraulique (de 80 à 100<sup>atm</sup>) pour éliminer l'huile. A Webau, l'huile paraffinée de première distillation donne, par refroidissement à 18°, de la paraffine dure (point de fusion : 42-48°); les huiles paraffinées des deuxième et troisième distillations sont refroidies à 0° avec une saumure à — 5°; enfin, les huiles paraffinées de quatrième distillation ne fournissent que des paraffines de moins de 42° de point de fusion. Les gâteaux de paraffine brute, à la sortie de la presse, contiennent environ 90 pour 100 de paraffine; ils sont fondus avec de l'huile légère. Après refroidissement, on expulse l'huile par compression et la paraffine est filtrée sur du noir animal. L'huile qui renferme de la paraffine est distillée sous pression réduite.

Le *soufre* gêne la rectification des sous-produits; on peut, à l'aide du chlorure de chaux et du bioxyde de manganèse, opérer une désulfuration partielle de l'huile brute; on peut aussi, par lavages successifs à la soude entre lesquels on expose l'huile à l'air, éliminer plus complètement le soufre. Divers procédés sont actuellement à l'étude.

Quant à l'*ammoniaque*, il semble que la carbonisation à basse température n'en donne que fort peu. On peut cependant traiter à la chaux les eaux ammoniacales et absorber, dans des colonnes, l'ammoniaque par l'acide sulfurique. On peut aussi laver les gaz dégoudronnés à l'acide. Dans certains cas il est possible de récupérer l'*acide acétique* des gaz sous forme d'acétate de chaux.

**Condensation primaire.** — La plupart des appareils d'usines à gaz <sup>(1)</sup> peuvent servir à la condensation des gaz et vapeurs; cette opération étant d'ailleurs plus facile pour les gaz de lignite qui ne contiennent pas de naphthaline, mais seulement du benzol, c'est-à-dire un mélange de carbures, quelques-uns de la série aromatique contenant principalement du benzène, mais surtout des carbures analogues aux essences de pétrole, des *goudrons*, du soufre, de l'ammoniaque, de l'acide acétique.

Les goudrons obtenus dans les carbonisations à basse température sont des produits plus légers que l'eau, bien différents des goudrons lourds des usines à gaz et des cokeries.

Le barillet est à la fois un *condenseur* et un *clapet de retenue* automatique; on sait que la surface du plan d'eau doit être très grande par rapport à la section des plongeurs, on peut compter de 4 à 10<sup>dm</sup><sup>2</sup> par 100<sup>m</sup><sup>3</sup> de gaz produits en 24 heures. Des dispositifs appropriés doivent permettre : le nettoyage des barillets; l'évacuation des produits condensés et, lorsque l'on a avantage à recueillir l'ammoniaque, la concentration des eaux ammoniacales. Nous citerons à ce sujet le dispositif de l'usine à gaz de Gennevilliers.

Le goudron décanté est évacué d'une manière continue, tandis que l'eau est refoulée à l'aide d'une pompe dans un bac supérieur d'où elle retourne au barillet où le cycle se ferme; les eaux ammoniacales sont envoyées aux citernes lorsqu'elles titrent environ 15<sup>g</sup> d'ammoniaque totale par litre.

Le collecteur est la canalisation en tôle mince qui rassemble les gaz provenant des barillets pour les conduire dans les réfrigérants.

Les condenseurs à air sont des *jeux d'orgues* ou des tubes

---

(1) Voir *Traitement des produits et sous-produits de l'industrie du gaz*, par René MASSE et Auguste BARIL (*Encyclopédie Léauté*, Masson et Gauthier-Villars, éditeurs).

faiblement inclinés dont la surface est de 20 à 30<sup>m²</sup> par 1000<sup>m³</sup> de gaz fabriqué en 24 heures. Ces chiffres, adoptés dans les usines à gaz, peuvent être modifiés pour les lignites. On peut activer la réfrigération à l'aide des condensateurs annulaires de *Wright* dont la partie centrale joue le rôle de cheminée.

Les condensateurs à eau sont des *faisceaux tubulaires* verticaux ou horizontaux entourés d'eau; leur surface est d'environ 10 à 15<sup>m²</sup> par 1000<sup>m³</sup> de production journalière. On peut également combiner un condenseur mixte dans lequel le gaz circule dans l'enveloppe dont la paroi extérieure est refroidie par l'air. Dans le condenseur *Mohr*, les parois de contact sont ondulées.

**Extracteurs.** — Afin que la carbonisation ne se fasse sous pression (il est avantageux au contraire d'opérer en dépression), il faut vaincre les résistances qu'opposent au gaz les divers appareils de récupération.

L'extracteur le plus simple est une pompe aspirante et foulante qui se place généralement entre les réfrigérants et les séparateurs de goudron.

Théoriquement, la puissance *P* en chevaux nécessaire pour refouler *Q* mètres cubes par seconde de la pression *h'* à la pression *h* en millimètres d'eau est

$$P = Q \left( \frac{h - h'}{75} \right).$$

Pratiquement, le rendement pouvant s'abaisser à 50 pour 100; il faut compter sur une dépense de 0,074 CV par centimètre d'élévation de pression de 1000<sup>m³</sup> de gaz à l'heure.

Les extracteurs à *piston* sont des pompes à gaz à double effet, à grand débit et faible pression, caractérisés par les grandes dimensions des orifices de leurs cylindres. Ces appareils ont l'inconvénient de provoquer d'importantes oscillations de pression.

L'extracteur rotatif le plus employé est l'extracteur *Beale*, pompe à deux, trois ou quatre palettes.

On tend maintenant à employer les extracteurs *rotatifs centrifuges*.

Tous les extracteurs doivent être munis de *régulateurs* de vitesse, régulateurs proprement dits ou régulateurs de retour qui mettent l'aspiration en communication avec le refoulement. Lorsque les extracteurs sont accouplés à des machines à vapeur, il vaut mieux utiliser des régulateurs qui agissent sur l'admission : une cloche équilibrée sur un récipient plein d'eau commande un papillon dit « à lanterne » dont les trous offrent passage à la vapeur d'admission.

Tous les appareils de traitement doivent être munis d'un *by-pass*, canalisation supplémentaire fermée en temps normal par une vanne ordinaire ou un clapet automatique et destinée, en cas de réparation ou d'accident, à mettre l'appareil hors circuit.

Les *vannes à clapet automatique* sont analogues aux soupapes de sûreté ; un contrepoids réglable le long d'un levier permet de choisir la pression sous laquelle le passage direct est offert aux gaz ; il faut empêcher que les dépôts de goudron ne collent le clapet sur son siège ; il suffit de le faire fonctionner souvent.

**Seconde récolte du goudron.** — Une certaine quantité de goudron à l'état vésiculaire résiste à la réfrigération.

L'appareil *Pelouze* et *Audouin* arrête les vésicules par choc.

Une cloche mobile plonge dans un bain de goudron ; elle comprend deux éléments concentriques séparés par un petit intervalle, chacun de ces éléments étant lui-même constitué par deux parois concentriques en tôle mince, distantes de quelques millimètres.

La paroi qui s'offre la première au passage des gaz comporte des zones horizontales alternativement pleines

ou percées d'un grand nombre de petits orifices de 1<sup>mm</sup>,5; la seconde paroi comprend, de même, des zones pleines et des zones munies de fentes rectangulaires disposées de sorte que les zones pleines de l'une des parois correspondent aux zones perforées de l'autre. Pour traverser les petits orifices, le gaz doit prendre une vitesse qui projette les vésicules goudroneuses contre la zone pleine où le gaz est obligé de changer de direction; le goudron, formé par l'assemblage des globules ainsi arrêtés, ruisselle dans la cuve. Les cloches sont équilibrées au moyen d'un contrepoids réglable; à la partie supérieure, l'étanchéité est obtenue au moyen d'un joint hydraulique constitué par une seconde petite cloche.

Deux ou trois fois par mois, on nettoie à l'aide d'un jet de vapeur.

On peut employer aussi des cloches rotatives coulissantes ou non.

On peut encore utiliser l'appareil électrostatique *Cottrell*, tube en verre, traversé par un fil tendu au moyen d'un poids et relié au pôle négatif d'une distribution à haute tension et faible intensité; le tube est lui-même connecté avec la terre, il est traversé par le gaz de bas en haut : les vésicules goudroneuses s'ionisent et sont attirées par la paroi du tube où elles ruissent.

*Foxwell* remplace le verre par de la *laine de verre*, ce qui permet d'obtenir un dégoudronnage *presque absolu*.

On doit contrôler l'efficacité des condensateurs à goudron : on fait passer un volume déterminé de gaz dans un tube de verre de gros diamètre rempli de coton de verre, avant puis après le passage dans les condensateurs; on pèse chaque fois le tube après dessiccation à 100° jusqu'à poids constant.

**Lavage du gaz.** — Lorsque l'on veut utiliser le gaz de lignite pour l'*éclairage* ou pour l'alimentation des *moteurs*, il est nécessaire de le débarrasser d'une partie de ses impu-

retés par lavage. Cette mise en contact avec différents liquides agissant, soit par dissolution, soit par combinaison, est également employée pour tirer certains sous-produits intéressants.

Nous examinons, dans le Chapitre spécial consacré aux carburants, les opérations de lavage pour l'extraction du *benzol*. Nous n'avons pas à étudier l'élimination de la naphthaline qui n'existe pas dans les vapeurs et nous nous bornerons à parler de l'ammoniaque, cette récupération n'étant d'ailleurs pas intéressante, dans tous les cas.

Le gaz ammoniac, l'hydrogène sulfuré et l'anhydride carbonique sont beaucoup plus solubles à froid, par exemple :

1 <sup>l</sup> d'eau à 0°	absorbe	1050 <sup>l</sup> de NH <sup>3</sup> ;	4 <sup>l</sup> ,4	de H <sup>2</sup> S,
1 <sup>l</sup> » à 20°	»	654 <sup>l</sup> »	;	0 <sup>l</sup> ,9 » ;

Il y aurait donc intérêt à laver à basse température, si l'on ne risquait pas de condenser en même temps des hydrocarbures.

Les *scrubbers* sont des tours dans lesquelles le gaz monte au travers de matériaux inertes arrosés d'eau (coke, copeaux de bois, etc.); nous citerons les appareils Mann, Livesey et Chevalet.

Les *laveurs à barbotage* sont plus simples; le gaz traverse une couche liquide d'une certaine épaisseur, ce qui absorbe beaucoup de pression mais permet de traiter les gaz contenant du goudron.

Les *laveurs rotatifs* Standard et Holmes à lamelles de bois ou brosses en piazzava sont très efficaces. On peut constituer un laveur rotatif peu encombrant en prenant un cylindre tournant que l'on partage en cinq compartiments concentriques remplis de copeaux de fer mouillés : un système de distribution oblige le gaz à traverser successivement les cinq compartiments, tandis que l'eau suit un trajet inverse.

On emploie aussi des laveurs dans lesquels l'eau est pro-

jetée par la force centrifuge, le plus connu est celui de *Feld*.

Le lavage à l'acide sulfurique permet de fixer les produits ammoniacaux directement sous forme de *sulfate d'ammoniaque*, mais il est indispensable que le gaz, exempt de goudron, conserve préalablement la totalité de ses vapeurs ammoniacales; or, les procédés d'élimination du goudron par réfrigération condensent aussi de l'ammoniaque.

*Otto* surmonte cette difficulté en dégoudronnant le gaz à chaud, au moyen d'une injection de goudron capable d'entraîner les particules solides en suspension; le gaz chaud barbote ensuite dans l'acide sulfurique.

*Koppers* condense par réfrigération puis par choc (*Pelouze*); l'eau ammoniacale recueillie est distillée en colonne et le gaz ammoniac rejoint le gaz dégoudronné; le mélange est réchauffé dans un échangeur de température aux dépens de la chaleur du gaz qui sort des fours, avant de passer au saturateur à acide.

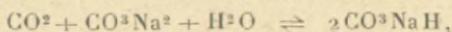
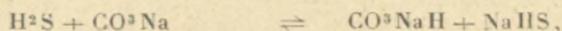
*Solvay* et *Simon Carvès* fonctionnent d'après des principes analogues.

Le passage dans les saturateurs provoque une perte de charge importante.

**Épuration chimique.** — Bien que le lavage soit une épuration utilisant, dans certains cas, des procédés chimiques, l'industrie gazière a pris l'habitude de réserver le nom d'épuration chimique aux opérations qui s'effectuent à la sortie des laveurs; le gaz contenant encore à ce moment des composés sulfurés (hydrogène sulfuré, sulfure de carbone) azotés (ammoniaque et cyanures en petite quantité) et un corps inerte inutile : l'anhydride carbonique.

L'hydrogène sulfuré est le corps le plus nuisible; l'élimination à sec sur l'oxyde de fer est classique ainsi que la revivification du sulfure de fer produit; la Compagnie *Koppers* élimine  $H^2S$  par lavage dans une solution de car-

bonate de soude :

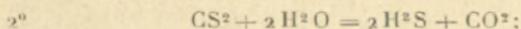


réactions réversibles : de gauche à droite, c'est la période d'absorption, de droite à gauche, c'est la période de régénération de la solution liquide.

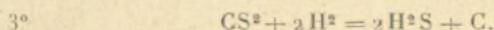
On procède rarement à l'élimination du sulfure de carbone, sauf lorsque les combustibles sont riches en soufre; les procédés employés sont les suivants :



Cette réaction exige l'élimination préalable de  $\text{CO}^2$  qui déplacerait de nouveau l'hydrogène sulfuré du sulfure de calcium;



c'est le procédé *Guillet* dans lequel le gaz à  $130^{\circ}$  saturé d'eau passe sur de l'oxyde de fer également chauffé qui absorbe  $\text{H}^2\text{S}$  dès sa formation;



réaction qui se fait à  $410^{\circ}$  en présence de boules réfractaires imprégnées de nickel obtenu par réduction de son chlorure, l'hydrogène est emprunté au gaz. On brûle alors le carbone déposé sur le catalyseur.

L'élimination spéciale du cyanogène n'est généralement pas recherchée; on se contente de l'épuration qui s'opère en même temps que celle de l'hydrogène sulfuré en présence de l'oxyde de fer; les traitements à la chaux ou à l'ammoniaque pour l'élimination de l'anhydride carbonique ont été abandonnés.



La Société du Gaz de Paris élimine séparément les sulfures et les cyanures pour la récupération de produits marchands.

On mélange le sulfate de fer et la chaux à raison d'une molécule de sel de fer pour trois molécules de chaux au minimum, c'est la matière de *Laming* avec laquelle on lave le gaz :

Les produits cyanurés sont transformés en prussiate de chaux soluble;

Une partie de l'hydrogène sulfurée est fixé en même temps sur l'hydrate de fer en excès et se précipite sous forme de sulfure de fer;

Les résidus du lavage sont séparés au filtre-pressé; les cyanures se trouvent dans le liquide; le résidu solide, oxydé à l'air, forme la base d'une masse épurante, constituée principalement par de l'hydrate ferrique mélangé de soufre, de sulfate et de carbonate de chaux, on y ajoute de la sciure pour la porosité et l'on s'en sert à sec dans les caisses d'épuration pour la fin du traitement; le gaz décyanuré abandonne facilement ses impuretés sulfurées sur cette matière, plus active que celle que l'on obtient par les procédés ordinaires.

Nous n'insisterons pas sur l'épuration chimique, importante surtout lorsque l'on veut utiliser le gaz et qui est bien connue des gaziers.

Le dosage de l'hydrogène sulfuré, à l'entrée comme à la sortie des cuves d'épurations pour le contrôle des opérations, se fait en mesurant l'augmentation du poids d'un tube contenant de la ponce imprégnée de sulfate de cuivre anhydre après passage d'un volume de gaz connu, parfaitement desséché.

On peut aussi faire un titrage volumétrique à l'iode



L'essai du gaz à l'acétate de plomb à 10 pour 100 sur du papier imprégné est plus rapide, le papier ne doit pas noircir si le gaz est bien épuré.

**Récupération directe du sulfate d'ammoniaque.** — On a recherché l'élimination combinée de l'ammoniaque et de l'hydrogène sulfuré, afin de produire directement du sulfate d'ammoniaque; nous citerons deux procédés.

Le procédé *Burkheiser* repose sur la transformation du sulfite en sulfate d'ammoniaque.

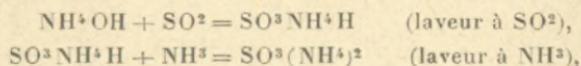
Le gaz ammoniac, provenant de la distillation des eaux ammoniacales, est joint au gaz dégoudronné.

La matière épurante (limonite ou oxyde artificiel) est pulvérisée, chauffée au-dessus de 100°, de sorte qu'elle peut traiter, entre deux revivifications, 20 000 fois son volume.

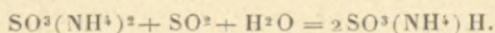
Pour la régénérer, on introduit l'air dans les cuves mêmes, cela assez longtemps pour transformer le sulfure de fer, non seulement en soufre mais en anhydride sulfureux. L'air, chargé de SO<sup>2</sup>, est dirigé dans un scrubber où il est lavé au moyen d'une lessive neutre qui devient acide.

Mais, d'autre part, le gaz épuré passe dans un saturateur, puis dans un scrubber où il est lavé au moyen d'une lessive acide qui devient neutre.

Ainsi la même lessive, circulant d'une manière continue à travers les scrubbers à SO<sup>2</sup> et à NH<sup>3</sup>, et le saturateur, opère la liaison entre les produits azotés et sulfureux, en passant alternativement par les états acide et neutre :



le sulfite d'ammoniaque retourne dans le laveur à SO<sup>2</sup>



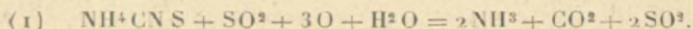
La suite des réactions est continue, la solution se concentre

de plus en plus, jusqu'à ce que le sel se dépose par cristallisation.

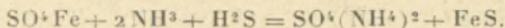
Le sel, précipité dans le saturateur, ne se compose pas exclusivement de sulfite; mais, par suite d'oxydation, il renferme 60 pour 100 environ de sulfate d'ammoniaque.

La transformation complète de sulfite en sulfate se fait ainsi : le mélange chemine dans un cylindre à l'aide d'une vis sans fin; un courant d'air traverse l'appareil en sens inverse et oxyde le sulfite, jusqu'à transformation des  $\frac{2}{3}$  du mélange en sulfate. Burkheiser a observé qu'on ne pouvait aller plus loin. Mais si l'on chauffe la partie postérieure du cylindre, le sulfite, subsistant dans le mélange, est vaporisé; un courant d'air l'entraîne vers la première partie du cylindre, portion refroidie où il se sublime : ainsi l'appareil n'évacue que du sulfate d'ammoniaque.

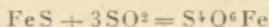
Ce procédé permet de récupérer aussi l'acide cyanhydrique : le cyanogène est retenu sous forme de sulfocyanure d'ammonium, qui se transforme en ammoniaque pendant la régénération sous l'influence de l'acide sulfureux :



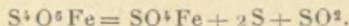
Le procédé *Feld* est un lavage dans une solution à 15 pour 100 de sulfate ferreux :



On régénère la solution en la soumettant à un courant d'air chargé de  $\text{SO}_2$  :



qui, chauffé vers  $80^\circ$ , donne



Le soufre solide est séparé au filtre-pressé, on le grille dans un four, afin de produire l'anhydride sulfureux nécessaire à la réaction. La solution de sulfate ferreux, qui con-

tient d'ailleurs du sulfate d'ammoniaque, est renvoyée dans le laveur pour traiter le gaz.

Le liquide s'enrichit ainsi progressivement en sulfate d'ammoniaque qui est recueilli périodiquement par évaporation sous le vide et essorage.

Mais ces derniers procédés, très séduisants, n'ont pas encore reçu d'application dans l'industrie du gaz en France.

**Emmagasinage du gaz.** — L'emmagasinage du gaz de lignite ne soulève aucune difficulté spéciale et les procédés en pratique dans l'industrie gazière sont applicables. En Allemagne, on emploie depuis un certain temps des gazomètres sous cuve : la cloche est remplacée par un réservoir dans lequel glisse un plancher formant piston, dont l'étanchéité est assurée par une gouttière en toile contenant du goudron et qui se trouve guidée sur les parois du gazomètre par des patins munis de galets.

**Analyse du gaz.** — Bien que le traitement des lignites en général n'ait pas pour objet la fabrication du gaz d'éclairage et que cette application paraisse devoir être rare, il n'est pas inutile d'indiquer les principes en usage dans l'industrie gazière et qui peuvent servir à vérifier les résultats des opérations de carbonisation et de gazéification.

On emploie généralement la méthode *volumétrique*.

On prend un volume connu de gaz qu'on traite successivement par différents réactifs, en mesurant, chaque fois, la diminution de volume correspondante, on dose successivement :

Par la potasse, l'anhydride carbonique;

Par l'eau bromée, les hydrocarbures éthyléniques et benzéniques;

Par le pyrogallate de potasse, l'oxygène;

Par le chlorure cuivreux en solution chlorhydrique, l'oxyde de carbone.

Les composés restants, hydrogène, méthane, azote, etc., sont mélangés à un volume suffisant d'air et brûlés par l'étincelle électrique; la contraction obtenue et la détermination du volume de l'acide carbonique formé permettent de calculer les proportions des constituants.

Ces manipulations se font à l'aide de la *burette de Boule* constituée par un gros tube gradué et fermé à ses deux extrémités par deux robinets; à la partie supérieure, se trouve un petit réservoir sur lequel est marqué un repère, le robinet qui se trouve au-dessous est à trois voies et peut faire communiquer avec la burette, soit ce petit réservoir, soit une tubulure d'arrivée du gaz.

A l'intérieur de la burette, deux électrodes en platine permettent de faire jaillir une étincelle.

L'analyse que nous venons de décrire a le grave inconvénient d'assimiler au méthane les hydrocarbures de la même famille. MM. *Lebeau* et *Damiens*, qui ont établi, pour la première fois, l'existence, dans le gaz d'éclairage, des carbures forméniques (éthane, propane, butane) ainsi que des composés éthyléniques (éthylène, propylène et homologues), ont imaginé un procédé qui consiste à liquéfier par le froid tous ces hydrocarbures et à soumettre ensuite le liquide à une distillation fractionnée; la valeur des tensions de vapeur des différents corps aux températures successives de l'opération suffit à déterminer leur nature, la méthode eudiométrique permettant en outre, le dosage <sup>(1)</sup>.

Le soufre est dosé dans les produits de la combustion du gaz, l'acide sulfurique formé est absorbé dans une solution bromée de carbonate de potasse sous forme de sulfate qui est précipité par le chlorure de baryum à l'état de sulfate de baryte, 1<sup>g</sup> de SO<sup>4</sup>Ba correspond à 0<sup>g</sup>,1374 de soufre.

**Récupération des benzols.** — Nous examinons cela dans

---

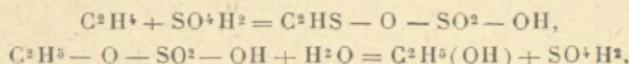
(1) *Ann. de Chimie*, 9<sup>e</sup> série, t. VIII.

le Chapitre spécial consacré à l'étude des carburants; nous nous contenterons de dire ici comment on peut doser le benzol dans le gaz par la méthode de M. E. Sainte-Claire Deville.

Si l'on refroidit le gaz à  $-22^{\circ}$  par une saumure, on recueille une certaine quantité de benzol à laquelle il faut ajouter le poids de la vapeur de benzol saturant le gaz à cette température, soit 23<sup>g</sup>,5 par mètre cube. On fait passer le gaz dans un serpentín de verre placé dans un mélange réfrigérant et terminé par un petit ballon où le benzol se condense. On a soin d'absorber auparavant toute l'humidité du gaz en le faisant passer dans des éprouvettes remplies de chlorure de calcium.

On peut aussi doser tout le benzol en refroidissant au-dessous de  $-70^{\circ}$ ; à cette température, la tension de la vapeur du benzol est pratiquement nulle: il suffit de refroidir à l'aide de la neige carbonique, dans un vase Dewar, un tube de condensation dans lequel passe le gaz.

**Récupération de l'éthylène** (1). — La fixation de l'éthylène par l'acide sulfurique concentré donne de l'acide sulfovinique ou éther sulfurique, acide qui, saponifié par l'eau, donne l'alcool éthylique :



La première réaction indiquée par Berthelot est très lente et exige une agitation prolongée. MM. Lebeau et Damiens ont montré que la présence de certains catalyseurs (anhydrides vanadique, uranique, tungstique, molybdique, oxyde et chlorure cuivreux) rendent immédiate la combinaison.

Le gaz est desséché par l'acide sulfurique; le propylène

---

(1) Note de M. P. DE LOISY à l'Académie des Sciences, décembre 1919.

et le butylène sont éliminés par l'acide sulfurique à 63° B.; l'éthylène est alors absorbé par l'acide à 66° B. chargé de 4 pour 100 de  $\text{Cu}^2\text{O}$  ou  $\text{Cu}^2\text{Cl}^2$ .

L'acide sulfurique dilué, obtenu après saponification de l'acide sulfovinique, peut être réemployé en partie pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque; le reste, concentré en utilisant les chaleurs des fumées, peut servir de nouveau.

La teneur en éthylène du gaz d'éclairage variant entre 1,5 et 2 pour 100 de son volume, 1 tonne de houille devrait donner  $4\text{m}^3,5$  d'éthylène, soit, théoriquement, 11 litres d'alcool absolu.

Aucune expérience n'a été publiée au sujet de l'éthylène contenu dans les gaz de distillation des lignites.

**Traitement des goudrons.** — Les goudrons de lignite les mieux décantés contiennent toujours une assez notable proportion d'eau qu'il faut éliminer par des procédés mécaniques ou thermiques afin d'éviter le moussage, les débordements et les incendies.

**Essorage.** — L'arbre de l'essoreuse porte un disque tournant; le goudron passe dans le faible espace qui reste entre la périphérie et la paroi, l'eau est prise à l'aide d'un tube qui débouche près du centre de l'essoreuse.

**Déshydratation thermique.** — La déshydratation thermique est une distillation préalable continue ou discontinue; le chauffage pouvant être assuré d'une manière quelconque.

L'appareil *Mallet* comprend une chaudière horizontale reliée à la base d'un faisceau tubulaire de chauffage, dans lequel la vapeur d'eau circule à l'extérieur des tubes et le goudron à l'intérieur. Le goudron qui arrive au bas du faisceau s'échauffe, monte à la partie supérieure et dans un tube qui débouche dans la chaudière, un peu au-dessus

du niveau du goudron. L'eau ammoniacale et le benzol se dégagent à l'état de vapeur et s'échappent du dôme vers un condenseur réfrigérant suivi d'un florentin.

**Déshydratation et distillation catalytiques.** — On pourrait déshydrater le goudron en le mélangeant à 50 pour 100 de charbon de bois ou de coke pulvérisé; mais avec ce procédé qui détruit l'état colloïdal de cette substance, il n'est pas nécessaire de séparer l'eau par décantation comme on pourrait le faire cependant : il suffit de distiller. Aucun moussage ne se produit, si bien que cette opération peut se faire dans des cornues plates à grande surface de chauffe; d'autre part, la séparation des différentes vapeurs des sous-produits est bien meilleure que dans les procédés ordinaires; on peut régler d'une manière plus précise la marche des opérations, que l'on peut pousser jusqu'au coke résiduaire si l'on veut, ce coke pulvérisé étant utilisé dans une seconde distillation.

Ce procédé a été expérimenté avec succès aux mines de Laluque sur des goudrons de lignite par le D<sup>r</sup> Duplan qui l'a imaginé.

**Distillation dans le vide.** — L'opération qui vient d'être décrite peut aussi se combiner avec l'emploi de pompes à vide pouvant abaisser, à 5 ou 6<sup>cm</sup> de mercure, la pression, ce qui permet de réduire de 100° les températures d'ébullition. On augmente ainsi de beaucoup la quantité et la valeur des huiles recueillies, mais l'emploi du vide est onéreux.

Il est également possible de remplacer le corps pulvérent catalytique par des bâtons ou des copeaux de bois, les produits de distillation de ce corps et le dégagement de chaleur qui résulte de cette opération accessoire favorisent la distillation du goudron de lignite.

**Divers procédés de distillation.** — Nombreux sont d'ailleurs

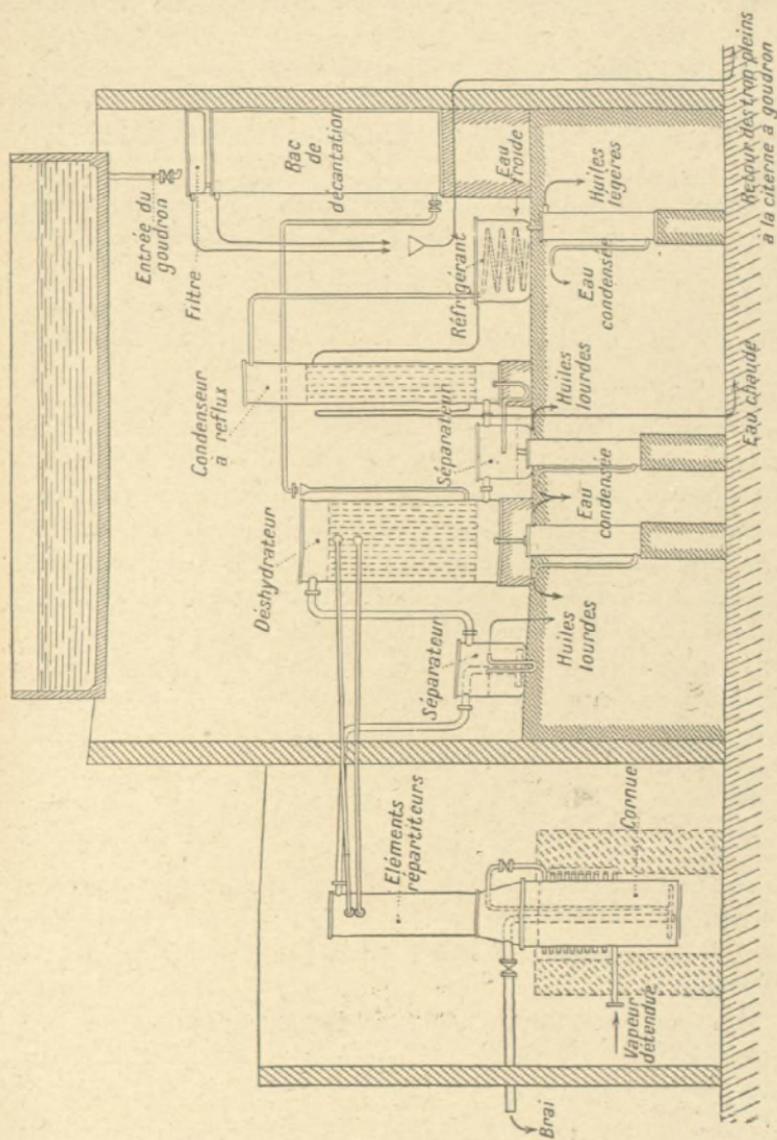


Fig. 46. — Distillation continue Abder Halden.

les procédés employés qui diffèrent surtout par le mode de chauffage.

Mallet, Ray, Hird, Wilton, Veickel, etc. chauffent leurs chaudières à feu nu; Raschig chauffe à la vapeur et à l'eau chaude sous pression. Abder Halden combine les deux moyens (*fig. 46*).

Cava et Hennebutte cherchent, non des huiles, mais surtout beaucoup de brai sans dépenser trop de combustible; ils y arrivent en oxydant les carbures par insufflation d'air. Nous ne recommandons pas ce procédé pour les goudrons de lignite dont la richesse est constituée, non par le brai, mais par les huiles.

*Procédé Mallet.* — La chaudière en cornue de distillation est verticale, le fond inférieur est très bombé vers l'intérieur. Le goudron est agité pendant la distillation au moyen d'un arbre vertical portant quatre bras cintrés qui ont le profil du fond et qui entraînent *des racloirs et des chaînes*, destinés à empêcher la formation et l'adhérence des dépôts.

La surface de chauffe doit être établie d'après le tonnage de la matière à traiter en tenant compte de ce que le liquide, restant à la fin de l'opération, doit couvrir toute la surface directement chauffée : ce liquide n'occupe plus que la moitié environ du volume initial traité.

On voit quelle série de précautions il faut observer pour distiller le goudron:

*Procédé continu Ettore-Ray.* — Le goudron passe dans une série de cornues où il est porté à des températures croissantes, les vapeurs de chacune des cornues étant condensées séparément.

Cinq ou six cornues sont ainsi disposées dans un four chauffé au gazogène avec réchauffement de l'air secondaire par récupération de la chaleur des fumées; les cornues communiquent entre elles par des siphons et sont alternativement inclinées dans un sens et dans l'autre; le gou-

dron y circule en sens inverse des gaz chauds dont on règle la vitesse dans chaque compartiment. La circulation du goudron est réglée à l'aide de soupapes. Les vapeurs goudronneuses sont condensées au fur et à mesure et une *injection de vapeur vive* facilite la distillation dans les dernières cornues.

Ce dispositif est employé pour les goudrons de houille, le brai sort à 265° environ. Un groupe de cinq cornues de 0<sup>m</sup>,25 de diamètre et de 5<sup>m</sup> de long permettent de traiter 25 tonnes de goudron par 24 heures.

*Procédé continu Raschig.* — Depuis longtemps à l'usine Raschig de Ludwigshaven, le procédé suivant est employé pour les goudrons de houille.

Trois chaudières fonctionnent en série sous des pressions variables, mais à la même température (145 à 160°); ce sont des parallélépipèdes presque horizontaux chauffés à l'aide d'un serpentín, par de la vapeur pour deux chaudières et par de l'eau surchauffée sous une pression de 200<sup>atm</sup> pour la dernière qui est en fonte.

Le goudron des citernes refroidit d'abord, dans des condenseurs, les huiles précédemment dégagées, passe dans un échangeur de température où il est réchauffé par le brai et arrive à la chaudière n° 1 qui distille, sous la pression atmosphérique, les eaux ammoniacales et les huiles légères.

Le reste descend dans un tube barométrique d'où il est aspiré dans la chaudière n° 2, maintenue à la pression de 7<sup>cm</sup> de mercure à l'aide d'une pompe; les vapeurs qui distillent passent dans une colonne remplie d'anneaux Raschig, au sommet de laquelle s'échappent les vapeurs d'huiles phénoliques; les vapeurs lourdes s'écoulant par le bas.

Le résidu passe dans un nouveau tube barométrique, puis est aspiré dans la chaudière n° 3 où il ne reste qu'une pression de 3<sup>cm</sup>,3 de mercure; les vapeurs de distillation passent ensuite dans une nouvelle colonne Raschig à la base

de laquelle on recueille les huiles à anthracène <sup>(1)</sup>; les vapeurs d'huile pour débencolage s'échappant en haut. Il reste du brai qu'on envoie à l'échangeur de température dont il a été parlé plus haut.

*Procédé Lenhard.* — Ce système sert à traiter dans les usines de la *South Metropolitan gas Co* de Londres, de grandes quantités d'un goudron de qualité sensiblement constante.

Il comprend une seule chaudière suivie d'un dispositif de condensation fractionnée.

La vaporisation de 60 à 80 tonnes de goudron par jour s'effectue dans un serpentin en fer de 800<sup>m</sup> de longueur et dont le diamètre va de 60<sup>mm</sup> à l'entrée jusqu'à 100<sup>mm</sup> à la sortie du four à radiation dans lequel il est placé. Le goudron est réchauffé et déshydraté avant d'être introduit sous la pression de 1<sup>kg</sup>,5 dans ce serpentin.

Les vapeurs passent dans un séparateur, colonne remplie de poteries; le brai se condense et les vapeurs qui s'échappent au sommet passent successivement dans trois réfrigérants qui recueillent : 1<sup>o</sup> l'huile à anthracène; 2<sup>o</sup> l'huile à naphthaline; 3<sup>o</sup> l'huile légère.

Les premiers réfrigérants sont refroidis par le goudron à distiller lui-même, qui s'échauffe ainsi jusqu'à 100<sup>o</sup> avant de passer dans un séparateur surmonté d'une colonne d'où s'échappent l'eau et les huiles légères; la déshydratation de ce goudron, avant son entrée dans le serpentin, s'achève dans une chaudière.

Le dernier réfrigérant est refroidi par l'eau.

CONCLUSION. — La distillation des goudrons de lignite est une opération compliquée par l'eau contenue dans ces produits, par le moussage, les dépôts calorifiques qui

---

(1) Il s'agit des goudrons de houille; la plupart des procédés que nous décrivons n'ont pas été mis au point pour les lignites.

tendent à se former, le souci d'arrêter assez tôt l'opération afin que le brai reste assez liquide pour pouvoir s'écouler. Le chauffage exagéré tend à dépolymériser les huiles et à augmenter la quantité de brai aux dépens du rendement en produits liquides.

Les procédés continus exigent moins de combustible et de main-d'œuvre, mais sont plus délicats à manier. Les procédés discontinus donnent d'assez bons résultats pour les goudrons de houille dont le brai se vend assez bien actuellement, mais il paraît plus avantageux de traiter les goudrons de lignite par des procédés spéciaux à l'aide de catalyseurs et sous le vide.

**Produits de distillation de goudron.** — 1. Les *benzols* et *huiles légères* (2 pour 100 de matières volatiles) sont les produits légers qui passent jusqu'à 180°; ils sont moins abondants en général dans les goudrons des carbonisateurs à basse température que dans ceux des distillations à haute température.

Il est bien évident que les distillations à haute température comme celles qui fournissent le gaz d'éclairage donnent lieu à des crackings accentués qui favorisent la production du gaz et des produits légers; mais en diminuant, dans les carbonisations à basse température, la pyrogénéation des vapeurs avant 500° environ, on pourrait obtenir des goudrons plus riches en produits légers.

2. Les *huiles moyennes* (de 1 à 5,5 pour 100 des matières volatiles) passent entre 170 et 240°; elles contiennent de 10 à 34 pour 100 de phénols, mais *sont totalement exemptes de naphthaline et d'anthracène.*

3. Les *huiles lourdes* passent de 240 à 315°.

Les huiles à *paraffine* sont en général en quantité notable dans les goudrons de lignite; elles sont particulièrement abondantes dans les lignites qui sont les plus humides :

4,5 pour 100 des matières volatiles, soit 35 pour 100 du goudron. Les paraffines sont concentrées dans les huiles passant à partir de 280° et dans les brais qui sont encore visqueux à 315° pour les goudrons très paraffineux.

Les huiles lourdes (240-315°) sont en quantité plus élevées que dans les goudrons obtenus à haute température; elles sont également dépourvues de naphthaline et d'anthracène et conviennent bien comme *huiles pour Diesel* ou pour le lavage des benzols. On y rencontre parfois une certaine quantité d'huiles propres au graissage.

Les *brais* sont moins abondants que dans les goudrons à gaz; ils contiennent moins de carbone.

La production d'*azote ammoniacal* est nettement inférieure à celle que l'on obtient dans la distillation des houilles à gaz.

Toutes ces considérations sont basées sur des *moyennes*, mais chaque lignite a des qualités spéciales, chaque goudron dépend des conditions de la carbonisation qui lui a donné naissance et les huiles elles-mêmes dépendent, en nature et en teneur, de la manière dont la distillation du goudron a été conduite.

Dans toutes ces opérations, on augmente la valeur des produits, si le chauffage est assez lent et progressif et sans pyrogénéation.

**Fabrication du phénol brut.** — Les huiles phénoliques sont lavées avec une solution de soude caustique à 10 pour 100. Après décantation, on obtient une huile déphénolée d'une part et une solution de phénates de soude d'autre part, que l'on concentre ou entraîne à la vapeur.

Les phénols sont libérés par l'acide sulfurique ou mieux par le gaz carbonique qui permet de récupérer la soude à l'état de carbonate; un four à chaux fournit le gaz carbonique à une teneur de 25 pour 100 et la chaux vive qui permet de récupérer la soude caustique.

Le phénol brut se sépare des solutions de sulfate ou de carbonate par décantation.

**Fabrication du phénol purifié.** — Le phénol brut est un mélange de phénols, crésols, xylénols et homologues supérieurs qui ont des points d'ébullition très voisins.

Une série de rectifications permet d'augmenter la richesse des produits à 50, 75, enfin à 85 pour 100 de phénol.

Une hydratation suivie d'un refroidissement énergique permet de cristalliser l'hydrate de phénol qu'on essore, distille afin d'avoir le phénol pur dont le point de fusion est compris entre 40° et 40°,5. Le phénol *neige* est une variété commerciale du phénol pur qui se présente sous la forme d'aiguilles blanches peu agglomérées, plus faciles à manutentionner que le phénol cristallisé ordinaire.

**Séparation des crésols.** — On peut rectifier de même les fractions enrichies en orthocrésol pour obtenir un produit commercial dont le point de fusion est compris entre 27 et 29°.

On peut aussi obtenir un mélange de méta (60 pour 100) et de paracrésol (40 pour 100). Pour obtenir la *crésylite* (trinitrométacrésol), le para est inutile et conduit même à une perte importante d'acide nitrique dans la fabrication de cet explosif.

Raschig sulfone à chaud le mélange par l'acide sulfurique à 20 pour 100 d'anhydride; les sulfonés sont hydrolysés à la vapeur d'eau; mais tandis que le sulfone du méta se décompose vers 125°, celui du para ne se décompose que vers 140° et l'on peut ainsi porter la richesse en métacrésol jusqu'à 80 pour 100. En soumettant aux mêmes opérations le mélange à 80 pour 100, on obtient ainsi un métacrésol à 95 pour 100.

\* \* \*

Il est inutile d'insister sur les nombreux usages du phénol (désinfectant, préparation de l'acide picrique, fabrication de l'acide salicylique), de l'orthocrésol (matières colorantes), du métaocrésol (musc synthétique, parfums), du paraocrésol (aldéhyde anisique, parfums).

Les bakélites, produits de condensation des crésols et du phénol avec le formol, permettent de fabriquer des succédanés du celluloïd, de l'ambre et de la gomme-laque.

On peut donc tirer des goudrons de lignite des produits de grande valeur, non seulement ceux que nous venons de citer, mais encore les essences et benzols, les solvants, les huiles à Diesel, les huiles de graissage, la paraffine, etc.

Il est donc bien évident que, chaque fois que ce sera possible, on devra chercher à traiter les lignites par carbonisation à basse température afin d'*obtenir la plus grande quantité de goudron de bonne qualité.*

Nous rappelons que cette opération donne, en outre, un gaz riche contenant du benzol, du soufre, de l'ammoniaque et laisse un semi-coke qui peut être vendu tout-venant, ou briqueté pour l'usage domestique, ou pulvérisé afin d'être brûlé sous chaudières.

On peut d'ailleurs le gazéifier sur place, ce qui donne au gaz à l'eau qui peut être utilisé : pour la fabrication de l'ammoniaque synthétique, pour la préparation de l'acétylène, ou dans des moteurs à gaz pour la production de l'énergie électrique.

---

## CHAPITRE XIV.

### LES LIGNITES ET LA FABRICATION DES CARBURANTS.

---

SOMMAIRE. — Intérêt de l'extraction des produits légers. — Classification des traitements possibles. — Débenzolage des gaz : à l'huile, au goudron, par poteries, à l'aide du charbon, aux crésols. — Discussion. — Objection contre la distillation des lignites. — Hydrogénation. — Procédé Bergius. — Application industrielle. — Liquéfaction directe du charbon. — Procédé Mélamid, mode opératoire. — Comparaison entre les procédés d'hydrogénation. — Procédés Fischer et Schrader. — Travaux de Sabatier et Sanderens, d'Ipatief et de A. Brochet. — Le catalyseur. — Fabrication du cyclohexanol. — La « Bergiusation » peut-elle devenir industrielle ? — Autres procédés : Procédé Blümmer. Procédé Seigle. — Conclusion.

La fabrication à partir des lignites, de produits légers pouvant servir de carburants, n'est peut-être pas, pour une partie de ces combustibles, la meilleure utilisation économique. Cependant le ravitaillement de notre pays en carburants, problème industriel intéressant, grave souci militaire et naval, déterminera sans doute les pouvoirs publics à tirer tout le parti possible, à ce point de vue, de nos gisements lignitifères.

Les essais de laboratoire donnent en effet des quantités variables, suivant les procédés et les lignites, de goudrons, d'où l'on peut extraire par distillation des huiles et, par rectification de celles-ci, des carburants, généralement plus voisins des essences de pétrole que des benzols de houille. D'autre part, les vapeurs qui s'échappent des cornues de carbonisation contiennent les mêmes produits légers.

Enfin, différents procédés permettent de transformer en carburants les huiles lourdes elles-mêmes.

Ainsi la fabrication des carburants, en partant des lignites, peut s'exercer par trois groupes de procédés pouvant être employés dans une série d'opérations successives sur le même lignite :

1<sup>o</sup> Extraction du benzol ou des essences, des gaz de carbonisation;

2<sup>o</sup> Rectification des huiles légères ou moyennes de distillation des goudrons;

3<sup>o</sup> Traitement des huiles lourdes et des résidus par hydrogénation ou autres procédés analogues.

**Débenzolage des gaz et vapeurs.** — Nous ne pensons pas que des essais industriels sérieux aient été poursuivis à ce sujet en dehors de ceux que nous avons effectués à l'usine Tozer de Londres sur les lignites français. Nous ne pouvons donner les résultats de ces opérations qui s'appliquaient à des lignites dont le degré d'humidité n'était pas exactement connu. Nous n'avions d'ailleurs pour but que de vérifier si les procédés de récupération à l'huile lourde pratiqués dans les usines à gaz pouvaient s'appliquer économiquement aux installations de carbonisation des lignites. Nous avons constaté que, dans tous les cas, le lavage est une opération avantageuse : le débenzolage pouvant être poussé aussi loin qu'on le peut, alors que les règlements administratifs s'opposent actuellement au débenzolage intégral du gaz d'éclairage qui doit conserver un certain pouvoir calorifique.

A cause du manque d'essais industriels sur le débenzolage des gaz de lignites, nous ne pouvons que rappeler les faits établis dans les usines à gaz de houille, encore que certains procédés proposés pour ces exploitations n'aient pas la consécration d'une fabrication industrielle suivie.

*a. Lavage à l'huile lourde.* — On lave le gaz dans l'huile

lourde et l'on extrait le benzol par distillation fractionnée suivie d'une rectification.

A l'usine à gaz de Gennevilliers, un mélange de  $\frac{2}{3}$  d'huile à naphthaline décantée et de  $\frac{1}{3}$  d'huile à anthracène a donné de très bons résultats; il absorbe plus de 6 pour 100 de son poids. En service courant il ne faut pas compter plus de 3 pour 100. Le dissolvant Brégeat formé des trois isomères ortho, méta et para-crésols  $C^6 H^4 (CH)^3 CH$  dont la densité est 1,044 et qui bout de 185 à 203° peut dissoudre jusqu'à 10 pour 100 de son poids en benzol. Il paraît assez facile de tirer des huiles de lignite, des huiles de lavage au moins équivalentes à celles que l'on prépare à partir des goudrons de houille.

Le lavage s'opère dans des colonnes à plateaux ou dans des laveurs rotatifs. Le désessenciement de l'huile qui se fait sous l'action de la vapeur dans des colonnes, remplies d'anneaux *Raschig* ou de produits similaires, est plus coûteux et exige des soins attentifs.

*b. Lavage au goudron.* — Le lavage au goudron est extrêmement simple. Des caisses prismatiques contiennent une vingtaine de tubes doubles : on oblige ainsi les gaz à 18° C. à barboter dans le goudron refroidi lui-même à 15°,6 C. Le goudron, enrichi en benzol, est ensuite traité à la distillerie de la manière ordinaire sans exiger un désessenciement spécial. Mais, dans les usines à gaz, on a remarqué que le lavage au goudron est environ 3 fois moins efficace que le lavage à l'huile et que l'ensemble du goudron fabriqué ne pouvait suffire à récupérer tout le benzol de la même usine.

*c. Absorption par poteries.* — M. Lessing propose d'absorber les vapeurs par des morceaux de brique ou des poteries moulées poreuses légèrement imprégnées d'huile verte ou d'huile de gaz. Lorsqu'un premier filtre est saturé, on dirige les vapeurs vers un second identique et l'on envoie dans le

premier de la vapeur d'eau surchauffée qui entraîne les produits dans un condenseur, où les benzols se séparent par densité. M. Lessing a combiné dans un laboratoire trois appareils semblables, qui servent alternativement pour l'absorption, la vaporisation et le refroidissement.

*d. Absorption par le charbon.* — De Saussure, qui a étudié dès 1814 l'absorption des gaz par les solides, avait remarqué que le charbon de bois à 12° était susceptible d'absorber 90 pour 100 de son poids d'ammoniac et 85 pour 100 d'acide chlorhydrique et que, lorsque la température augmente, la capacité d'absorption diminue.

De cette observation sont nés un grand nombre de brevets. Certains procédés augmentent le pouvoir adsorbant : le charbon de bois traité par le chlorure de zinc, puis chauffé progressivement jusqu'à distillation de ce chlorure, est 20 fois plus actif environ que le charbon de bois ordinaire; il est capable de capter pratiquement la totalité des carbures benzéniques contenus dans le gaz.

Les vapeurs absorbées sont expulsées du charbon au moyen de la vapeur sèche à 180°, le charbon est ainsi peu humidifié et il suffit de le sécher légèrement pour le mettre en état d'être réutilisé. Pour recueillir 100<sup>kg</sup> d'huiles légères, il suffirait de 300<sup>kg</sup> de charbon de bois et de 400 à 800<sup>kg</sup> de vapeur. Une installation d'essai a été faite par la maison allemande Bayer dans une petite usine à gaz; elle comprend deux filtres de 780 litres contenant chacun, sur une hauteur de 1<sup>m</sup>, 195<sup>kg</sup> de charbon actif granulé. Lorsqu'un filtre est saturé, on utilise l'autre et l'on déplace le benzol du premier à l'aide de vapeur surchauffée à 250° et détendue à 400<sup>g</sup>. On récupère 35<sup>kg</sup> de benzol pour 1000<sup>m</sup><sup>3</sup> de gaz, le benzol étant plus léger (0,885 au lieu de 0,900 à 0,930) que le benzol brut de lavage. Une installation de ce genre est en montage à l'usine à gaz de Grenoble.

On admet que le charbon actif doit absorber en benzol

25 pour 100 de son poids, alors même que l'air ne contient que 25<sup>g</sup> de benzol par litre. La société Bayer annonce que la perte par usure du charbon actif n'est que de 20 pour 100 par an; le procédé procurerait en outre une grande économie de force motrice, de vapeur et de main-d'œuvre.

*e. Lavage aux crésols.* — M. Ch. Berthelot s'est constitué le défenseur <sup>(1)</sup> du procédé Brégeat de lavage par les crésols. M. Brégeat a substitué d'ailleurs dans ses laveurs, aux claies, des bobines ou ressorts à boudin de même axe dont les pas sont égaux et qui sont enroulés dans le même sens, mais alternativement, vers le haut, puis vers le bas; on les jette ainsi dans les laveurs. Le gaz, pour se créer un passage, est obligé de lécher de grandes surfaces; en outre, les intervalles entre les spires d'une même hélice ou de deux hélices successives retiennent des lamelles liquides, augmentant le contact avec les gaz à débenzoler.

M. Ch. Berthelot trouve que ce procédé est bien préférable à celui du charbon activé pour masque antigaz dont il rappelle la fabrication. On calcine progressivement dans des fours à moufle des fragments de 2<sup>cm<sup>3</sup></sup> de bois de pin qu'on porte lentement à 800°, température qu'on maintient 6 à 8 heures. Un traitement préalable du bois pendant une heure par acide chlorhydrique à 20° B. contenant un peu de chlorure de zinc est recommandable. A la sortie du four, le charbon est lavé à l'acide chlorhydrique et à l'eau, puis séché dans le vide à une température de 70 à 80°. Après dessiccation, on le fait passer dans une bluterie pour enlever les poussières.

On obtient ainsi un charbon très adsorbant (ou occlusant) qui présente le maximum possible de canaux capillaires, ce qui accroît sa fragilité. En outre, la matière activante, chlorure de zinc, étant soluble dans l'eau, les traitements

---

(1) *Chimie et Industrie*, mai 1903, p. 572-578.

successifs à la vapeur l'entraînent et ne laissent qu'une poussière qu'on doit remplacer par du charbon actif frais.

D'autre part, la vitesse de passage des gaz dans le charbon doit être faible (25<sup>cm</sup> par seconde), soit 12<sup>cm</sup> environ dans la section de l'absorbeur, ce qui oblige à des dimensions très fortes; l'occlusion dégage de la chaleur qu'il faut absorber; enfin si la richesse des mélanges gazeux n'est pas constante, les mélanges pauvres s'enrichiront en vapeurs de benzol aux dépens de la masse occlusante qui vient d'absorber des mélanges gazeux riches. Le procédé au charbon activité est discontinu, alors que la dissolution dans l'huile ou les crésols est une méthode continue et par conséquent économique, par la diminution de main-d'œuvre qui en résulte. Le procédé au charbon activé exige de plus une condensation du mélange de vapeurs d'eau et de solvant que l'on doit ensuite chauffer après l'avoir refroidi, alors que, dans le procédé aux huiles ou aux crésols, l'absorbant a une très faible chaleur spécifique ( $c = 0,2$ ), que le mélange de vapeurs est envoyé à la rectification sans condensation préalable que les chaleurs qu'il emporte peuvent être récupérées; par exemple l'huile benzolée à distiller est chauffée par les vapeurs d'eau et d'huile légère ainsi que par les huiles lourdes sortant de la colonne de débenzolage.

Pour toutes ces raisons, le procédé aux crésols serait bien préférable (économie de frais d'établissement, de matières, d'énergie et de main-d'œuvre); ce dernier procédé serait aussi plus avantageux que le lavage aux huiles lourdes, car le pouvoir absorbant des crésols est quatre fois celui des huiles et l'emploi des crésols réduit jusqu'à 2<sup>g</sup> la perte du benzol par mètre cube de gaz traité.

*f. Réfrigération.* — A la température de 70°, la tension de la vapeur de benzol est nulle, on pourrait donc dépouiller complètement le gaz du benzol qu'il contient en le réfrigérant, ce qui exige une consommation de force motrice

représentant 7 à 10<sup>kg</sup> de vapeur par kilogramme de benzol récolté. Cette consommation n'est pas très élevée, si l'on songe que le lavage à l'huile lourde, qui fait perdre une quantité assez grande d'huile (250 à 300<sup>kg</sup> par tonne de benzol), donne un produit et demande en outre 7 à 9<sup>kg</sup> de vapeur par kilogramme de benzol.

DISCUSSION. — Nous répétons que les procédés que nous venons d'exposer n'ont été appliqués industriellement, et encore à titre d'essai, qu'aux usines à gaz ou cokeries. On peut cependant tirer de ces essais des conclusions utiles à l'industrie des lignites.

Le lavage aux huiles lourdes, qui laisse évidemment du benzol, est cependant très pratique parce qu'on trouve sur place les huiles nécessaires. M. Charvet rapporte que, de 1916 à 1919, la Compagnie du Gaz de Lyon a débénzolé à raison de 700 à 1000<sup>g</sup> d'huile par mètre cube de gaz dilué dans 5 pour 100 de gaz à l'eau. La teneur du gaz était de 36 à 40<sup>g</sup> de benzol dont on récupérait ainsi, par des procédés de fortune, 30<sup>g</sup>, soit 75 à 83 pour 100. D'après M. Thevenon, les fournisseurs d'installations de débénzolage garantissent un enlèvement de 80 à 90 pour 100 ne laissant pas plus de 3<sup>g</sup> de benzol par mètre cube de gaz avec une consommation de 7 à 8<sup>kg</sup> de vapeur par kilogramme de benzol.

Il n'en reste pas moins que le procédé aux crésols et la récupération par réfrigération paraissent intéressants pour les lignites dont on peut tirer assez de crésols pour le lavage.

Le procédé au charbon activé est plus discutable, du moins avec le processus actuel. Nous avons à ce sujet des idées que nous n'avons pu encore vérifier expérimentalement, ce qui nous oblige à ne pas en parler, ne voulant pas engager nos lecteurs dans une mauvaise voie.

**Objection contre la distillation des lignites.** — Au Congrès des Combustibles en 1922, M. J. Erhard a cru pouvoir

soutenir que la distillation des lignites, même des lignites du nord de l'Espagne riches en goudron et qu'il a traités dans des conditions variées, est une opération qui ne paye pas.

1000<sup>kg</sup> de ces lignites, distillés à basse température, ont donné 8 à 9 pour 100 de goudrons, 20 à 25 pour 100 d'eau, 42 à 45 pour 100 de coke et 200<sup>m<sup>3</sup></sup> de gaz. Ce gaz et une partie du coke étant consommés dans la distillation, il ne resterait finalement que 35 à 40 pour 100 de coke et 8 à 9 pour 100 de goudron.

M. Ehrard admet, à égalité de poids, l'équivalence calorifique entre le résidu et le lignite qui lui a donné naissance. Voici son calcul :

A étant la valeur à pied d'œuvre d'une tonne de lignite, on perd en combustible 0,6 A.

On récupère :

45 <sup>kg</sup> d'huile à 0 <sup>fr</sup> ,50.....	22,50
45 <sup>kg</sup> de brai à 0 <sup>fr</sup> ,15.....	6
En tout.....	<u>28,50</u>
Les frais de traitement s'élèvent par tonne à.....	15
Reste.....	<u>13,50</u>

L'opération payerait si :

$$0,6 A \leq 13^{\text{fr}}, 50, \text{ d'où } A \leq 20^{\text{fr}}.$$

Sans relever l'erreur matérielle finale d'un calcul applicable à un lignite très singulier, nous ferons observer :

1<sup>o</sup> Que la valeur calorifique (et par conséquent marchande) du semi-coke à 6000 calories environ est 3 fois celle du lignite brut à 2000 calories;

2<sup>o</sup> Que l'emploi du semi-coke comme combustible pulvérisé ou même sous forme de briquettes agglomérées avec du brai provenant de l'opération est beaucoup plus commode que l'usage du lignite;

3<sup>o</sup> Que, notamment, le transport en est moins onéreux

par suite de la disparition d'une partie du poids mort;

4<sup>o</sup> Que le rendement en coke résiduaire, est, non de 350<sup>kg</sup>, mais au moins de 600<sup>kg</sup>, quantité qui dépend d'ailleurs de la teneur en eau du lignite, lequel peut être séché avant traitement;

5<sup>o</sup> Que la quantité de brai (50 pour 100 des goudrons) trouvée par M. Erhard est certainement exceptionnelle : la plupart des goudrons de lignite ne donnent qu'une très faible proportion de brai (10 pour 100 environ) s'ils sont convenablement distillés;

6<sup>o</sup> Que les huiles et les gaz contiennent du benzol dont il n'est pas tenu compte;

7<sup>o</sup> Que l'on peut tirer des goudrons jusqu'à 30 pour 100 de paraffine à 3<sup>fr</sup>,50 le kilogramme, soit 27<sup>kg</sup> de paraffine à 3<sup>fr</sup>,50 = 94<sup>fr</sup>,50, somme qui suffirait seule à reculer de 10 fois sa valeur, le prix limité de la tonne de lignite sur le carreau de la mine, à partir duquel l'opération ne paye pas.

Il faut retenir de ceci : que chaque lignite doit être spécialement étudié; qu'il est audacieux de formuler des règles générales aussi étroites; que dans beaucoup de cas la carbonisation est une opération très rémunératrice.

Si, au début de cet article, nous avons mis nos lecteurs en garde contre des évaluations optimistes touchant la récolte en carburants, nous n'avons voulu parler que des carburants eux-mêmes, non de l'ensemble des produits de la carbonisation. Il peut être avantageux de diriger cette opération de façon à obtenir, au lieu de carburants, la plus grande quantité : d'huiles lampantes, de paraffine, de coke, etc., mais les pouvoirs publics pourraient, en raison de notre pénurie en carburants, favoriser la fabrication de ces derniers produits. Les procédés que nous allons examiner permettraient de transformer, en produits légers, la plus grande partie des huiles lourdes provenant de la distillation des goudrons.

**Hydrogénation des goudrons de lignite ou des huiles lourdes et du brai qu'on en tire.** — Il paraît avantageux d'extraire, en tout cas, par distillation des goudrons, les produits les plus précieux qu'ils contiennent : essences et benzols qui passent au début de l'opération, huiles à paraffine qui distillent en dernier lieu. Des huiles qui restent et du brai, on doit chercher à obtenir le meilleur rendement. Un certain nombre de procédés sont proposés qui n'ont pas encore la sanction brutale de l'entreprise industrielle, nous allons les examiner en commençant par un procédé allemand, dérivé d'ailleurs des expériences de Marcelin Berthelot, qui a donné lieu à des publications nombreuses et contradictoires. Nos explications seront empruntées à l'étude qu'en a faite dans le *Chemical Trade Journal* du 31 août 1923 le Dr Brownlie.

L'hydrogénation a pour but de transformer les huiles lourdes et les brais en huiles légères.

Si cette opération réalise ses promesses, les goudrons et surtout les huiles lourdes et les brais provenant de la carbonisation des lignites seront l'une des matières premières les plus recherchées. Il y faudra joindre l'hydrogène à bon marché. La plupart des méthodes de fabrication de ce gaz utilisent le charbon pour la production d'un gaz à l'eau, servant, plus ou moins directement, de source d'hydrogène. Les gaz des fours à coke renferment 50 pour 100 d'hydrogène. La décomposition électrolytique de l'eau et des lessives alcalines donne également, mais à un prix généralement plus élevé, des quantités importantes de ce gaz. On peut d'ailleurs, avoir l'hydrogène nécessaire en fabriquant du gaz à l'eau avec du coke de lignite ou d'autres résidus de carbonisation. On peut également transporter, près des fours à coke, les huiles lourdes et les brais à traiter.

**Procédé Bergius.** — Les recherches du Dr Bergius remontent à 10 ans environ. Il s'attacha, à cette époque,

à l'étude de la formation du charbon aux dépens des matières cellulosiques. Bergius chauffa la cellulose, la tourbe et d'autres produits semblables en autoclave à haute température et sous une forte pression. Ces matières cellulosiques chauffées pendant 10 heures, sous environ  $100^{\text{atm}}$  et à  $340^{\circ}\text{C.}$ , forment une masse noire ressemblant au charbon et contenant 84 pour 100 de carbone, 5 pour 100 d'hydrogène et 11 pour 100 d'oxygène. Des quantités notables d'anhydride carbonique se dégagent. Ce « charbon artificiel » est aussi riche en carbone que certains charbons naturels.

Il se forme en outre des quantités considérables de coke; Bergius trouva que ce trouble est dû à la surchauffe des produits, soumis à la pyrogénéation, les réactions de décomposition étant exothermiques, et l'évita en dérivant l'excès de chaleur par immersion de l'autoclave dans l'eau; nous pouvons penser que, conformément au mode opératoire industriel de Bergius, le chauffage a eu lieu au moyen de gaz chauds traversant l'intérieur de l'autoclave.

Bergius procéda de cette façon à des chauffes sous une pression de plus en plus élevée, mais, même en portant celle-ci à  $5000^{\text{atm}}$  (ce qui comportait des dangers considérables), ne put obtenir de charbon à plus de 88 pour 100 de carbone. Sous ces pressions énormes, les produits gazeux contenaient du méthane, constituant régulier des gisements carbonifères.

Bergius trouve alors que son charbon artificiel à 85-88 pour 100 de carbone, traité en autoclave par l'hydrogène à la température de  $450^{\circ}\text{C.}$  et sous une pression de  $200^{\text{atm}}$ , en absorbe des quantités considérables et se convertit en un liquide visqueux d'une composition analogue à celle du pétrole brut. En traitant de la même manière le charbon naturel finement pulvérisé, Bergius aurait atteint la liquéfaction complète de celui-ci. Le même procédé, appliqué à des huiles lourdes, opéra leur transformation en huiles légères.

*Hydrogénation industrielle des huiles lourdes.* — Le procédé Bergius est, d'après Brownlie, exploité dans les environs de Mannheim par la Deutsche Bergius Akt. ges. für Erdöl-und Kohlenchemie, de la manière suivante.

La méthode pour le traitement en grand d'une huile déterminée est établie d'après les données des expériences préalables, effectuées au laboratoire. On se sert à cette fin d'un petit autoclave en acier d'une capacité de 5 litres. On y introduit d'abord une quantité déterminée d'huile, et ensuite, au moyen d'une pompe foulante, de l'hydrogène jusqu'à la pression nécessaire. On chauffe graduellement l'autoclave par des brûleurs à gaz puissants en lui donnant un lent mouvement rotatif. La pression à l'intérieur atteint 200<sup>atm</sup>.

Pour éviter des accidents, l'autoclave est placé dans une chambre en ciment armé et le contrôle des opérations, réglées par voie électrique, est effectué à distance. On laisse refroidir et l'on examine le liquide pour déterminer la quantité d'hydrogène et la température convenables.

L'appareillage industriel est analogue. L'huile et l'hydrogène, chauffés préalablement à la température de réaction, sont refoulés à une extrémité d'un autoclave cylindrique rotatif et l'hydrogène présent, en quantité surabondante, sort à l'extrémité opposée entraînant les huiles hydrogénées ayant pris naissance : un condenseur fait refluer les fractions lourdes échappées à l'hydrogénation.

Les lourds autoclaves en acier possèdent une capacité de production égale à 1 tonne d'huile par 24 heures. Leur construction particulière paraît être tenue secrète et beaucoup de points touchant celle-ci demandent à être éclaircis, mais on sait qu'ils sont longs d'environ 9<sup>m</sup> et d'un diamètre interne de 90<sup>cm</sup>, qu'ils sont munis d'agitateurs mécaniques et garnis intérieurement d'un fourneau d'acier interchangeable.

Le chauffage est effectué au moyen d'azote sous pression,

porté à la température requise et passant dans une chemise entourant l'autoclave. L'huile forcée dans l'autoclave par une puissante pompe foulante est réchauffée par des serpentins parcourus à l'azote à la sortie de la chemise. L'opération est continue, l'hydrogène entraînant, comme nous l'avions indiqué plus haut, après son passage par le condenseur les huiles légères, tandis que les résidus liquides lourds sont également soutirés de l'autoclave, de façon continue.

L'installation complète comprend un nombre d'unités susceptibles de traiter 50 tonnes d'huiles par 24 heures. Tous les autoclaves sont protégés par d'énormes chambres en ciment armé et commandés électriquement à distance, tout comme l'appareil de laboratoire.

*Liquéfaction directe du charbon.* — Lorsqu'on veut appliquer ces mêmes méthodes à l'hydrogénation industrielle directe du charbon, on se heurte à des difficultés considérables. Aussi finement que soit pulvérisé le charbon, c'est toujours un corps solide n'admettant pas un contact aussi intime avec les gaz qu'avec les huiles. La durée de l'hydrogénation, courte pour les huiles, se prolonge ici jusqu'à 12 heures.

Le caractère exothermique des réactions en cours nuit au contrôle de la température et il est difficile d'empêcher la formation du coke. Bergius étudie une méthode particulière consistant à faire circuler dans l'autoclave une huile tenant en suspension du charbon finement pulvérisé.

Le résultat de ces opérations dépendra en grande partie de la composition du charbon et notamment de sa teneur en matières volatiles. Le charbon chimiquement pur, sous forme de charbon de bois, est insensible à l'hydrogène, même aux plus fortes pressions, et il en est de même pour des charbons du type anthracitique, c'est-à-dire à plus de 85 pour 100 ou 90 pour 100 de carbone. Par contre, la houille ordinaire, chargée de 25-35 pour 100 de matières

volatiles, fournit, lorsqu'elle est hydrogénée à des pressions variant entre 40 et 200<sup>atm</sup> et dans le voisinage de 400° C., une huile ressemblant au pétrole brut et donnant comme celui-ci un grand nombre de dérivés par fractionnement. La nature des réactions ayant lieu au cours de cette hydrogénation est actuellement à l'étude; il semble que les composés oxygénés du charbon soient convertis en phénols, l'azote en ammoniacque ou ses composés et le soufre en hydrogène sulfuré.

L'étude de Brownlie n'apporte pas de renseignements sur l'hydrogénation directe des lignites, qui serait certainement, en ce qui concerne la France, plus intéressante que celle de la houille.

**Procédé Melamid.** — Le procédé Melamid est défini par les brevets anglais : 171 367 du 10 octobre 1921; 171 390 et 174 321 du 9 novembre 1921 et 180 625 du 10 novembre 1921 et par le brevet français 539 715 du 15 août 1921 qui les englobe. Melamid abaisse la pression d'hydrogénation des huiles hydrocarburées lourdes par l'emploi de catalyseurs.

Tandis que Bergius opère à des pressions très élevées, généralement dans les environs de 100<sup>atm</sup>, Melamid se contenterait de 15-20<sup>atm</sup> et même dans certains cas d'une pression voisine de la pression atmosphérique.

Dans le brevet 171 367, Melamid s'arrête d'abord sur le procédé Bergius. Il mentionne ensuite un procédé consistant à faire passer de l'huile lourde mélangée d'eau ou de vapeur dans des cornues, chargées de débris de fer et chauffés à 500° C. Ces procédés ainsi que celui reposant sur la catalyse par le nickel finement divisé ou non, ou encore par le chlorure d'aluminium, présentent, d'après Melamid, des difficultés techniques considérables. Il décrit ensuite le procédé de Fischer consistant à traiter le crésol par l'hydrogène, en présence d'étain et en faisant passer le

mélange de ces substances dans des tubes en fer étamés, portés au rouge; on obtient ainsi du toluène et du benzène et ce même procédé a pu être appliqué à la conversion des huiles de goudron en huiles lubrifiantes.

*Mode opératoire.* — Les trois premiers brevets Melamid se rattachent à la méthode de Fischer. Melamid utilise l'étain comme catalyseur, mais à l'encontre de Fischer; il opère sous pression, ce qui lui permet d'abaisser considérablement la température et d'augmenter le rendement. Par exemple :

1<sup>o</sup> 15<sup>kg</sup> d'huile de goudron exempte de phénol et bouillant entre 200-300° C. sont chargés dans un autoclave à parois étamées contenant 1<sup>kg</sup> d'étain. On force dans l'autoclave de l'hydrogène sous une pression de 15<sup>atm</sup>, on ferme et l'on chauffe à 300° C. environ. Après quelques heures, le produit de réaction est distillé; 85 pour 100 environ de la quantité totale passent jusque 200° C. et le résidu est un liquide jaune huileux pouvant servir de lubrifiant;

2<sup>o</sup> 15<sup>kg</sup> d'huile de goudron à 20 pour 100 de phénol sont, comme il est décrit plus haut, hydrogénés pendant 6 heures et à 320° C. par l'hydrogène, introduit sous 15-20<sup>atm</sup>; 82 pour 100 du produit de réaction passent à la distillation jusque 180° C.; le résidu est encore utilisable comme lubrifiant. La teneur en phénol de ces produits est tombée de 20 pour 100 à 2 pour 100.

Le brevet 171 390 étend la méthode aux huiles de pétrole et aux autres huiles hydrocarburées. Le *gas oil* américain, traité de façon analogue, passe à la distillation dans le rapport de 70 pour 100 jusque 180°. L'huile de pétrole bouillant entre 200-300° C., soumise à l'hydrogénation en présence de 1 à 2<sup>kg</sup> d'étain, sous une pression de 30<sup>atm</sup>, donne 80 pour 100 d'huiles légères.

Dans le brevet 174 321, Melamid abaisse la pression,

mais relève la température de réaction. La ressemblance avec la méthode de Fischer s'accuse, cependant le contact entre les matières réactionnelles et le catalyseur est plus intime. L'huile, qu'elle soit de goudron brut ou de pétrole brut, est pulvérisée (atomisée) par un courant d'hydrogène en grand excès. Le mélange d'hydrogène et de buée d'huile est envoyé dans une chambre allongée, où des plaques en fer étamé, superposées en chicanes et distantes de 1<sup>cm</sup> environ, l'obligent à suivre un chemin sinueux et à entrer ainsi en contact intime avec la surface étamée. Les plaques peuvent être remplacées par des cuvettes chargées d'étain. L'appareil est construit de sorte que les vapeurs ne puissent avancer que lentement et soient soumises ainsi à une action catalytique énergique.

Suivant la nature du produit à hydrogéner, on fait varier la température. Lorsqu'on chauffe la chambre au rouge, la pression n'a pas besoin de dépasser de beaucoup la pression normale. Il convient d'employer une température de 800° C. et au-dessus.

D'après le brevet anglais 180 625 de Melamid, l'étain peut être, dans l'hydrogénation des huiles carburées, remplacé par d'autres métaux et par des alliages fondant au-dessous de 700° C., à l'exception du zinc, du plomb et en général de métaux formant facilement des carbures. Tels sont par exemple des soudures facilement fusibles, des alliages de bismuth; ces catalyseurs doivent rester liquides à la température de l'hydrogénation.

#### Comparaison entre les procédés d'hydrogénation. —

Les catalyseurs de Melamid paraissent insensibles aux composés sulfurés des huiles. Ses procédés utilisent un courant gazeux comme véhicule de la chaleur, les matières volatiles entraînées sont récupérées ensuite. D'une manière analogue, Friedmann distille en Argentine le pétrole brut, il fait arriver du gaz naturel chaud qui s'enrichit en hydrocarbures

légers qu'on absorbe ensuite par le charbon activé fabriqué avec des coques de noix de coco suivant la méthode de Burrel et Oberfell. La carbonisation à basse température dans la zone supérieure des gazogènes, sous l'influence du gaz chaud, s'appuie sur le même principe; il en est de même de la dessiccation des charbons dans les gaz de combustion.

Melamid, opérant dans le voisinage de la pression atmosphérique, emploie un appareil moins lourd que celui de Bergius; son procédé est une combinaison de l'hydrogénation avec la distillation proprement dite. Son économie exige la récupération de l'hydrogène en excès chargé d'hydrocarbures légers, qui peut s'effectuer par absorption de ces derniers, mieux par la méthode Brégeat que par celle du charbon activé Bayer. Il paraît possible, puisque le gaz de gazogène entraîne des vapeurs goudroneuses et renferme de l'hydrogène, de pratiquer tout de suite en une seule phase l'hydrogénation en faisant passer ces vapeurs sur des catalyseurs appropriés.

Le Dr Frank, à qui nous devons les réflexions qui précèdent, donne dans *Braunkohle* (n° 21 du 25 août 1923) quelques résultats obtenus par Melamid.

Une huile de pétrole riche en asphalte (huile de Panuco) ayant été hydrogénée a donné près de trois fois plus de benzine plus légère et un gain important en pétrole, huile moyenne, huile lubrifiante, paraffine, etc.

Un goudron de lignite provenant des gazogènes Mond donne les fractionnements suivants :

	Goudron de lignite.	
	Brut.	Hydrogéné.
Benzines.....	6,4	23,7
Huiles pour moteurs.....	14	36
Autres huiles.....	19,7	19,7
Brai.....	46,8	»
Paraffine.....	4,1	8,4

La méthode de M. Magnus de Freiburg, en Bade, qui emploie deux genres de catalyseurs, paraît se rattacher à

la méthode de Melamid; il y aurait aussi un procédé similaire en Tchéco-Slovaquie.

Le procédé H. Fischer et H. Schrader hydrogénise le charbon par le formiate de sodium. Ce corps étant chauffé à 300° donne de l'oxalate de sodium et de l'hydrogène, lequel agit à l'état naissant sur le charbon en formant des hydrocarbures. On mélange quatre parties de lignite finement pulvérisé avec une partie de formiate de sodium et l'on chauffe pendant 3 heures à 400° sous la pression ordinaire à l'aide d'un courant de vapeur. On liquéfie ainsi 25 pour 100 du poids de lignite traité et l'on peut pousser le rendement jusqu'à 50 pour 100 en opérant sous pression élevée.

**Recherches de M. A. Brochet.** — Les lignites contenant une proportion importante d'huiles phénolées, d'où l'on peut extraire le phénol, l'hydrogénation de ce corps, qui donne le cyclohexanol et les hexahydrophénols, intéresse donc tout particulièrement l'industrie des lignites.

C'est en 1897 que MM. Sabatier et Sanderens ont publié leurs premières recherches sur l'hydrogénation des composés organiques à l'aide des métaux réduits. Une température élevée était nécessaire afin que l'action catalytique ne soit pas arrêtée par suite du mouillage au catalyseur; on obtenait aussi, à côté du produit hydrogéné, des produits de pyrogénéation. La première application industrielle du nickel, préparé sur les indications de MM. Sabatier et Sanderens, a été faite en Angleterre par Normann pour l'hydrogénation des corps gras.

M. A. Brochet, qui a complété les travaux de ces chimistes ainsi que ceux d'Ipatief, a résumé ses études remarquables dans une communication au Congrès des Combustibles liquides en 1922 (1).

---

(1) *Chimie et Industrie*, mai 1923, p. 587-595.

Le procédé A. Brochet permet d'opérer un grand nombre d'hydrogénations et de réductions à une température inférieure à  $150^{\circ}$  et à une pression inférieure à  $15^{\text{atm}}$ . M. A. Brochet, qui emploie, dans certains cas, des températures ou des pressions supérieures, favorise les réactions par une agitation énergique qui maintient en présence : le gaz, le liquide et le solide. Cette agitation permet d'ajouter un autre liquide; par exemple, dans la réduction catalytique du nitrobenzène qui donne normalement de l'aniline, si l'on ajoute une petite quantité de soude caustique, on obtient successivement l'azoxybenzine, l'azobenzène et l'hydrozobenzène que l'on peut transformer en benzidine. Elle permet aussi de réduire des corps solides comme l'indigo ou certains colorants pour cuve ou des corps liquides maintenus en ébullition.

*Le catalyseur.* — Mais c'est dans la préparation du catalyseur que M. A. Brochet a réalisé le plus de progrès. Le catalyseur Sabatier et Sanderens provenant de la réduction vers  $300^{\circ}$  par un courant lent d'hydrogène de l'oxyde de nickel provenant de la calcination est *pyrophorique*, c'est-à-dire qu'il s'oxyde spontanément à l'air. Il doit donc être immergé dès qu'il est préparé et ne peut plus être employé qu'avec le liquide servant à l'immersion, ce qui empêche de doser exactement la quantité qu'on emploie. E. Kayser, en Amérique, a préparé un catalyseur inoxydable à l'air en remplaçant, une fois la réduction terminée, le courant d'hydrogène par un courant de gaz carbonique sec.

Sans connaître ces derniers travaux, M. Brochet a obtenu par simple calcination entre  $250-300^{\circ}$  du *formiate de nickel*, un catalyseur qui, refroidi à l'abri de l'air, n'est pas oxydé ensuite au contact de l'air. On enrobe des grains de pierre ponce ou de brique, ou encore des tortillons de toile de nickel ou de fer dans une pâte de formiate de nickel; après dessic-

cation on introduit l'ensemble dans le tube-laboratoire qu'on chauffe à 250-300° jusqu'à ce que l'on ne constate plus de dégagement gazeux, ce qui demande moins d'une heure : le tube est alors prêt à servir. M. A. Brochet a montré que ni le formiate, ni l'oxyde de nickel ne sont catalytiques et que l'hydrogénation ne se produit que si le sel a été calciné ou l'oxyde réduit.

Dans certaines catalyses, la présence de composés de métaux alcalins ou autres agissant comme activateurs est indispensable. La fabrication du catalyseur est délicate, certains produits agissent comme retardateurs et même comme *poisons*, mais on explique peut-être de cette façon des inactivités dues à d'autres causes. L'activité du catalyseur s'accroît au début puis diminue; il ne semble pas qu'il y ait de relation entre l'activité du nickel et son degré de pyrophoricité, ni de division : un nickel épuisé par une fabrication de cyclohexanol est d'apparence plus ténue que le nickel actif. Tous ces faits sont encore mystérieux et les mesures de l'activité sont à faire : le chiffre de Graham classique pour l'occlusion de l'hydrogène par le nickel est de 17-18 volumes, mais Raoul a trouvé que le nickel en tubes employé comme cathode absorbait 165 fois son volume d'hydrogène et que le même échantillon recouvert par l'électrolyse d'une pellicule de nickel n'en absorbait plus.

**Fabrication du cyclohexanol.** — Le phénol cristallisé ou neige traité par l'hydrogène pur, en présence du catalyseur, fixe de l'hydrogène et donne du cyclohexanol. Pour augmenter la vitesse de réaction et la quantité d'hydrogène fixée, on a intérêt à forcer la proportion du catalyseur et à brasser énergiquement le mélange; la réaction dégage de la chaleur et il semble possible d'arriver, en marche normale, à supprimer le chauffage.

Lorsque le produit à traiter renferme 5 pour 100 de catalyseur actif : à 100° sous la pression atmosphérique

commence l'absorption d'hydrogène jusqu'à et au delà de 150°. Si l'on n'alimente pas en hydrogène, le vide se fait et l'absorption se ralentit évidemment; mais si l'on augmente la pression à 10, 15<sup>atm</sup>, l'opération s'accélère. La température et la pression ne sont donc limitées que par les conditions économiques du matériel de fabrication.

On peut transformer intégralement le phénol, mais au fur et à mesure de la formation du cyclohexanol, l'opération se ralentit; il est donc économique de ne pas pousser l'opération jusqu'au bout.

Le mélange cyclohexanol-phénol catalyseur peut être envoyé dans un filtre-pressé pour extraire le catalyseur, mais il est plus simple de munir l'appareil d'un filtre permettant d'y laisser le catalyseur : le cyclohexanol filtre facilement, limpide et incolore.

On recharge l'appareil et l'on recommence et ainsi de suite, jusqu'à ce que la vitesse d'hydrogénation tombe de moitié; on remplace alors le catalyseur.

Si le produit cherché est un carburant, on peut l'employer tel quel; mais, pour certaines applications, il faut le débarrasser du phénol avec lequel il est mélangé, ce que l'on fait facilement en le lavant à la soude caustique : le cyclohexanol surnage.

Le produit brut, soumis à la distillation, passe presque tout entier entre 160 et 161°.

C'est un liquide incolore légèrement visqueux, solide à froid, fondant à 23°<sub>5</sub>, bouillant à 160°<sub>5</sub>, et dont la densité est 0,95. Son odeur caractéristique rappelle celle de l'alcool amylique; il dissout environ 10 pour 100 d'eau et est soluble dans 20 parties; une faible quantité d'eau permet de le conserver liquide dans les conditions normales de température.

Meilleur dissolvant que l'alcool amylique, il est miscible dans tous les solvants usuels; il permet notamment le mélange de l'alcool et des essences et pétroles, lorsqu'il est ajouté en petites quantités. Les trois crésols (ortho,

méta, para) s'hydrogèment très bien et à peu près dans les mêmes conditions.

On voit que l'hydrogénation, qui intéresse les industries des colorants, des parfums et des produits pharmaceutiques, peut rendre de grands services dans l'industrie des combustibles, où elle n'a pas encore donné tout ce qu'on peut attendre raisonnablement. MM. Varvon et Dictrié ont étudié avec soin les phénomènes de l'hydrogénation du phénol (1). En Allemagne, l'hydrogénation du phénol est poursuivie en grand par la *Petrolin Gesellschaft* et la *Badische Anilin und Soda*, qui préparent l'acétate et le formiate d'hexaline ou d'adronal, solvants des résines et même de la nitrocellulose.

**La « Bergiusation » peut-elle devenir industrielle ?** — Les brevets de Bergius, qui ont leur origine dans la méthode de Berthelot, hydrogénation par l'acide iodhydrique à 280° en tube scellé, reprise par F. Fischer et H. Trope au Kaiser Wilhem Institut, ont fait beaucoup de bruit en Allemagne. Cependant les vérifications effectuées à l'Institut déjà nommé n'ont donné à 400°, sous des pressions de 50 à 130<sup>atm</sup>, qu'un rendement de 20 pour 100; l'absence de mélangeur empêchait, il est vrai, le palier de température que Bergius juge indispensable. Le Dr Fischer a cependant obtenu dans le même autoclave à 400° par hydrogénation au formiate de sodium 39 pour 100 de produits liquides avec la houille et 45 pour 100 avec le lignite. Ces expériences laissent espérer une solution industrielle.

M. Audibert, directeur des Essais du Comité des Houillères de France (*Chimie et Industrie*, octobre 1923), envisage d'autres procédés : la carbonisation à basse température et dans le vide, qui donne le goudron primaire formé surtout de carbures non cycliques analogues à ceux de la plupart des pétroles.

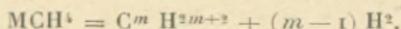
---

(1) *Chimie et Industrie*, mai 1923, p. 596-601.

M. Audibert fait remarquer que cette opération laisse un coke facile à pulvériser et qui permettrait de généraliser l'emploi du combustible pulvérisé dans les foyers. Avec les lignites, le coke obtenu est encore plus facile à traiter; il est souvent déjà pulvérisé lorsqu'il sort des cornues, ce qui rend les lignites bien désirables pour cette opération dès qu'il ne contient pas trop de cendres.

Pour la houille, il vaudrait mieux commencer par l'hydrogénation des goudrons obtenus à haute température dans les usines à gaz, goudrons qui représentent de 2 à 4 pour 100 du poids de la houille traitée.

Cette solution s'accompagnerait de la pyrogénéation des gaz susceptibles de fournir des carbures comme le montrent les expériences de laboratoire, la formation des corps organo-métalliques nécessaires se ferait mieux d'ailleurs dans les autoclaves que l'on a appris à manier. Il s'agit de réaliser en gros la formule :



Cette solution une fois mise au point, la transformation des lignites en carburants pourrait nous fournir, sinon la totalité, du moins en grande partie les carburants qui nous sont indispensables.

**Procédés pour la transformation d'hydrocarbures lourds en hydrocarbures légers.** — Lorsqu'on soumet un hydrocarbure lourd tel que le pétrole à une température élevée sous une pression notablement supérieure à sa tension de vapeur à cette température, il se produit un dédoublement moléculaire qui se traduit par la formation de deux nouveaux carbures, l'un saturé, l'autre éthylénique de densités et point d'ébullition beaucoup moins élevés.

Il est indispensable de refroidir rapidement le mélange de carbures dès sa formation, mais de ne retirer la pression qu'après refroidissement complet.

La matière première qui a été employée par M. *Pierre Bernard* dans les premiers essais était du pétrole lampant de Pensylvanie de densité 0,816 à 15° ne contenant aucune fraction distillant au-dessous de 150°.

Après transformation, le liquide obtenu, soumis à la distillation, donnait 25 pour 100 d'une essence de densité 0,721 distillant entre 26 et 150°. Le résidu de la distillation de densité 0,815 était du pétrole non transformé. Soumis à un nouveau passage dans l'appareil, il donnait de nouveau un quart d'essence et ainsi de suite jusqu'à transformation totale, sauf à chaque passage une perte de 2 pour 100 mesurée à l'état gazeux. Il n'a jamais été constaté, lorsque la température et la pression étaient convenablement réglées, de formation de coke.

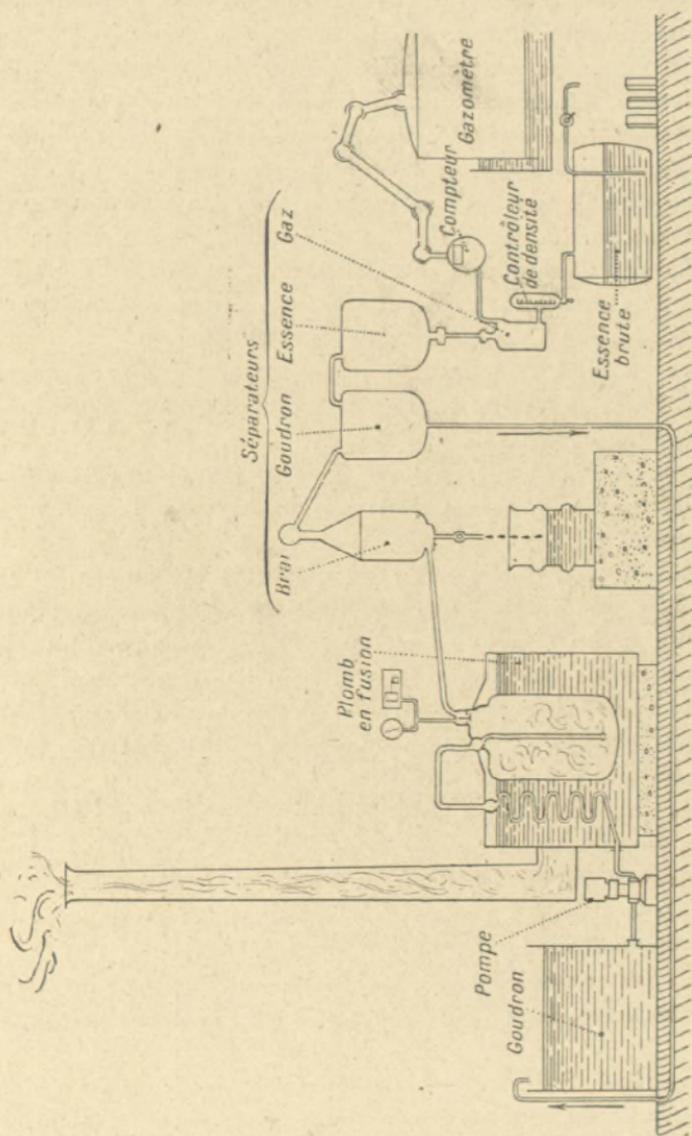
L'essence distillée était de couleur jaunâtre, d'une odeur particulière non désagréable. Lavée à l'acide à 50° B, elle perdait sa couleur et se conservait intacte pendant deux ans.

Avec cette essence, une voiture Renault 4 cylindres a fait 280<sup>km</sup> sans aucune difficulté avec une consommation de 9 litres pour 100<sup>km</sup>.

L'appareil se compose d'un tube aboutissant à deux serpentins; l'un d'eux chauffé à 400-450° sert à la décomposition, l'autre plonge dans un bain réfrigérant; une pompe sert à refouler dans cet ensemble le pétrole liquide sous 40 à 50<sup>atm</sup>.

Ce dispositif pourrait être modifié pour le traitement des huiles de lignite.

PROCÉDÉ BLÜMMER. — M. Blümmer, chimiste suisse, utilise un procédé analogue pour la fabrication de l'essence en partant de l'huile de schiste ou de lignite (goudron) sur lequel on fonde de grands espoirs en Allemagne. La réussite de l'opération tiendrait au mode de distribution uniforme de l'huile de goudron et de la progression suivant



laquelle les températures sont appliquées avant d'être maintenues uniformes.

Les appareils sont chauffés à l'aide d'un bain de plomb en fusion, constituant un volant de chaleur qui maintient la température à  $430^{\circ}$  : une diminution de  $10^{\circ}$  suffirait à diminuer de moitié la vitesse de réaction.

Lorsque l'huile de lignite est injectée, la pression monte rapidement et s'arrête à  $40^{\text{atm}}$  grâce à une soupape de décharge; les produits qui distillent sont recueillis successivement dans un séparateur Raschig, dans un refroidisseur, puis dans une série d'appareils de condensation.

Un goudron de lignite à forte teneur de phénol aurait ainsi fourni 25 pour 100 d'essence et 16 pour 100 d'huile de graissage.

Le schéma (*fig. 47*) montre le groupement des appareils industriels et la circulation des produits de la gauche à la droite.

Dans le réservoir initial, sont mélangés le goudron et les produits condensés au-dessus de  $210^{\circ}$ . La pompe refoule le liquide jusqu'à la cornue par l'intermédiaire d'un serpentiforme formé d'anneaux Raschig qui le portent vers  $400^{\circ}$ . Un bain de plomb fondu entoure le serpentiforme et l'autoclave.

La soupape de décharge maintient la pression vers  $40^{\text{atm}}$ , des appareils contrôlent cette pression.

Les vapeurs des produits lourds se condensent; les produits bouillant au-dessus de  $200^{\circ}$  se déposent dans le séparateur de goudron, d'où ils retournent au réservoir initial; enfin les essences se condensent et coulent après avoir traversé le contrôleur de densité.

Les gaz non condensables, séparés, sont emmagasinés dans le gazomètre, leur volume est mesuré par le compteur.

PROCÉDÉ SEIGLE. — Le procédé Seigle présenterait l'avantage de fonctionner à basse pression,  $2^{\text{cm}}$  d'eau, et de récupérer une partie de la chaleur mise en œuvre.

On dépolymérise les huiles de lignite dans des cornues-serpentinées soumises à une chauffe intensive 550° C. garnies de tournures métalliques (Cu, Fe, Al, Ni). Le mélange de gaz et de vapeurs passe ensuite dans plusieurs jeux de détendeurs et de refroidisseurs garnis également de tournures et entourés d'eau en ébullition. Le refroidissement est ainsi assez rapide puisque cette eau emprunte aux vapeurs d'hydrocarbures la chaleur nécessaire à sa vaporisation.

La température de l'eau dans le premier détendeur est 230-250°, le chlorure de calcium qu'elle contient permet de réaliser cette température à basse pression. Un second détendeur refroidit de 230 à 100°; les produits condensés dans celui-ci sont formés d'huile moyenne et ceux qui passent, condensés plus loin, sont des essences. Quant aux condensations du premier refroidisseur, elles retournent à la nourrice pour subir un nouveau traitement. Les gaz non condensés sont lavés.

Il n'a été réalisé jusqu'à présent qu'un appareil semi-industriel qui sert aux démonstrations.

Voici le résultat d'un essai du 9 février 1922, contrôlé par le Conservatoire des Arts et Métiers, traitement de 50 litres de mazout léger en 4 heures. On a recueilli :

Dans le deuxième détendeur.....	17 <sup>l</sup> ,5
Dans le réfrigérant (essence).....	22 <sup>l</sup> ,5
Dans le scrubber (essence).....	1 <sup>l</sup> ,5
Dans le gazomètre.....	7 <sup>m<sup>3</sup></sup> , 125

La consommation correspondante du brûleur était de 31,8.

La distillation des produits condensés dans le deuxième détendeur a fourni 51,25 d'essence, ce qui porte à plus de 58 pour 100 le rendement en carburant.

L'opération paraît intéressante pour le mazout, mais nous regrettons de n'avoir pas les résultats obtenus avec l'huile ou le goudron de lignite.

Il est bien évident que, pour les lignites paraffineux, il

vaut mieux extraire d'abord les huiles de paraffine et en même temps les huiles légères dans une première opération ou l'on se garderait bien de dépolymériser des produits de valeur. L'appareil Seigle ne pourrait convenir qu'aux résidus de cette première opération, huiles moyennes et huiles lourdes qu'il vaut mieux transformer en essence que de rendre telles quelles comme huiles combustibles. Encore pourrait-on mettre à part les huiles phénolées.

Sous cette réserve, nous résumons ci-après les propositions de l'inventeur, technicien très distingué :

L'invention consiste en une combinaison d'appareils assurant une distillation régulière et intensive et, au besoin, une dépolymérisation partielle et méthodique de certains hydrocarbures liquides ou liquéfiables, bruts ou résiduels, tels que les huiles de lignite, etc.

La disposition d'application normale comprend habituellement :

*a.* Au moins une cornue-serpentin disposée verticalement et ayant extérieurement la forme d'un tronc de cône très allongé et dans l'intérieur de laquelle est disposée, de bout en bout, une gaine télescopique permettant un chauffage intensif et facilement réglable. Le long de cette gaine télescopique intérieure et faisant corps avec elle, sont échelonnés plusieurs disques dont les bords prennent contact avec l'enveloppe extérieure de la cornue. Ce dispositif permet à la fois la séparation ou le réaccouplement rapide de la gaine porte-disques et de l'enveloppe ainsi que la disposition ou l'enlèvement des pailles ou tournures métalliques diverses, ou autres matières, sur les disques.

*b.* Au moins deux détenteurs-refroidisseurs identiques, quant à leur construction, mais fonctionnant à des températures différentes.

Dans les organes intérieurs, d'abord du premier, et ensuite du deuxième de ces détenteurs-refroidisseurs, parviennent successivement les vapeurs de la ou des cornues-serpentin,

lesquelles vapeurs subissent ainsi deux refroidissements successifs qui sont l'un comme l'autre très brusques mais incomplets et résultent d'une intensive absorption de chaleur faite par de l'eau en ébullition à plus ou moins haute température et dans laquelle plongent lesdits organes intérieurs qui sont disposés de façon que l'on puisse facilement y placer ou enlever des couches successives de pailles métalliques ou autres matières.

*c.* Un appareil de réfrigération ou condensation définitive pouvant être un réfrigérant classique tel que, par exemple, un simple serpentin ayant une surface de réfrigération suffisante, ou bien encore un classeur de distillats, d'un système perfectionné.

*d.* Un appareil classique d'épuration des hydrocarbures incondensables qui constituent le gaz riche; cet appareil doit comprendre, autant que possible, un séparateur des produits volatils solubles dans les huiles lourdes dans le genre de ceux habituellement utilisés dans la distillation ou la pyrogénéation des huiles de schiste, de pétrole, de houille, etc.

*e.* Un gazomètre pour l'emmagasinage dudit gaz riche.

*f.* Des appareils accessoires, tels que récupérateurs de chaleur, réservoir, nourrice, aspirateurs.

Un des divers avantages que présente ce dispositif est que, durant tout le cycle opératoire, les pressions des hydrocarbures ne dépassent jamais la pression atmosphérique au delà de 15 à 20<sup>mm</sup> d'eau. On supprime ainsi une série de risques.

La cornue-serpentin employée assure, en outre :

- 1° L'utilisation très méthodique de la chaleur, ainsi que des propriétés catalytiques de divers métaux communs;
- 2° La dépolymérisation et la distillation, facilement réglables d'après le débit et les catégories d'hydrocarbures à obtenir.

Les détenteurs-refroidisseurs sont constitués par des réservoirs à double enveloppe, dans laquelle circule de l'eau préalablement portée à une température très voisine de sa température d'ébullition. A l'intérieur de chaque détenteur sont placés des plateaux amovibles, sur lesquels on dispose des pailles ou tournures métalliques.

Les vapeurs hydrocarburées qui viennent de la cornue-serpentin à une haute température subissent, dans les deux détenteurs, deux refroidissements successifs très brusques, mais incomplets, par suite d'une absorption rapide et importante de calories résultant de la vaporisation de l'eau en ébullition dans la double enveloppe où elle est maintenue à une température déterminée, grâce à un échappement muni d'un robinet que l'on règle de manière à obtenir la pression correspondant à la température nécessaire, soit 230 à 300° C. pour le premier détenteur, et 120 à 130° pour le second.

On ajoute à l'eau du premier détenteur une plus ou moins forte quantité de chlorure de calcium ou de tel autre élément retardateur du point de vaporisation de l'eau, évitant ainsi la nécessité de maintenir une trop forte pression dans le récipient extérieur de ce premier détenteur, tout en réalisant une température de 250 à 300° C.

L'eau d'alimentation des deux détenteurs subit un réchauffage préalable.

Les hydrocarbures réchauffés au préalable à 200° environ pénètrent dans la cornue.

Les vapeurs, produites dès le bas de la cornue, montent et traversent successivement les compartiments et les pailles métalliques ou tournures de cuivre, de fer, d'aluminium, de nickel, etc., qu'ils renferment. Celles-ci, tout en divisant les vapeurs en très minces filets, agissent catalytiquement sur leurs molécules.

Celles-ci, rendues instables par la rupture de leur équilibre chimique, sortent de la cornue-serpentin à une tempé-

rature variant entre 550 et 650° C. En arrivant dans le premier détenteur-refroidisseur maintenu à une température de 250 à 300°, elles subissent un très brusque, mais incomplet refroidissement, ainsi qu'une détente non moins brusque, d'où nouvelle rupture d'équilibre chimique et fractionnement des molécules; les hydrocarbures les plus lourds se condensent et retournent alors directement au réservoir-nourrice pour subir à nouveau le cycle thermo-chimique de vaporisation et de dépolymérisation.

Cette détente et ce refroidissement brusque sont dus à la rapide absorption par l'eau en ébullition des 537 calories qui, comme on le sait, sont nécessaires à son passage de l'état liquide à l'état de vapeurs saturées. En définitive, à volumes égaux, l'eau en ébullition absorbe, par exemple, dix fois plus de calories pour se vaporiser plus ou moins instantanément que si elle avait travaillé lentement dans les réfrigérants classiques des distilleries de pétrole (537 calories au lieu de 50 pour passer de 15 à 65°).

De plus, la température de 250 à 300° maintenue dans ce premier détenteur-refroidisseur permet, par la présence des pailles métalliques qui y sont disposées, de compléter les réactions catalytiques de la cornue-serpentin, réactions facilitées ici par la détente et le brusque refroidissement des vapeurs hydrocarbonées amenant, comme on vient de le dire, une nouvelle rupture d'équilibre chimique.

Les vapeurs d'hydrocarbures, sortant de ce premier détenteur-refroidisseur à une température d'environ 280°, vont subir une nouvelle détente, et un nouveau refroidissement brusque dans le second détenteur-refroidisseur, à l'intérieur duquel la température est d'environ 180°, et où se reproduisent les mêmes phénomènes d'absorption de calories et de dépolymérisation catalytique, mais d'une façon moins intensive.

Des vapeurs condensables tombent dans le fond de ce second détenteur et sont recueillies pour être, suivant les

besoins, utilisées telles quelles ou rectifiées, car elles ne contiennent que des produits relativement légers tels que : des huiles légères de graissage, du kérosène, de l'essence du type poids lourd. Les hydrocarbures non encore condensés sont conduits à un réfrigérant classique, où ils se condensent alors, et forment des produits très légers et volatils comprenant l'essence légère employée dans les moteurs d'automobiles et d'avions, ainsi qu'une assez forte teneur d'éthers de pétrole (1).

Des gaz, incondensables à la température ordinaire, s'évacuent de ce réfrigérant classique, ces gaz ne sont autres que le gaz riche et la série des éthers ou autres hydrocarbures très volatils, très employés en parfumerie, en pharmacie, ainsi que pour la fabrication des vernis; ces éthers ou hydrocarbures très volatils sont condensés dans l'épurateur riche, soit par pression, soit en faisant barboter lesdits gaz dans de l'huile lourde, qui les dissout et de laquelle on les retire ensuite par distillation dans le vide, ou autrement.

Le gaz riche restant en fin de compte est analogue au gaz d'huile employé, par exemple par les Compagnies de chemins de fer pour l'éclairage des wagons, etc. Il est, en général, emmagasiné dans un gazomètre placé à la suite de l'épurateur C.

La charpente métallique qui sert à supporter l'ensemble des appareils permet l'accès facile de la tête de cornue et, de plus, une potence pivotante permet de déboîter la gaine porte-disques de la cornue de son enveloppe extérieure, de la déplacer à volonté, puis, finalement, la réemboîter après nettoyage et, le cas échéant, regarnissage de certains de ces plateaux ou disques.

Dans son brevet en date du 22 décembre 1921, l'inventeur a ajouté :

---

(1) Il s'agit là du traitement de produits pétrolifères.

1<sup>o</sup> La disposition en échelons ou la superposition des appareils de distillation ou de dépolymérisation;

2<sup>o</sup> Le fonctionnement à flamme renversée de la ou des cornues, de chauffage intensif des hydrocarbures;

3<sup>o</sup> La construction particulière desdites cornues permettant leur facile démontage et remontage, ainsi que le contrôle de leurs multiples sections superposées, et de leurs garnitures catalysantes.

*Étude des conditions de fonctionnement de l'appareil.* — Les appareils sont peu encombrants. L'emploi de l'eau en ébullition, au lieu d'eau froide pour la réfrigération des hydrocarbures, permet de réduire, dans la proportion de 5 à 1, la surface totale des réfrigérants et, dans la proportion de 6 à 1, la masse d'eau nécessaire à la bonne marche des appareils; le réglage précis des diverses températures permet la meilleure utilisation des diverses réactions thermochimiques successives, qui font partie du cycle. Par exemple, il est possible de régler dans une certaine mesure les proportions des produits fabriqués (des huiles de graissage, pétrole lampant ou essences) d'après la composition chimique de la matière première et les demandes du marché.

Les dépôts de carbone, peu importants, sont plus ou moins pulvérulents et dispersés en faibles masses dans les nombreux matelas amovibles de tournures ou pailles métalliques garnissant les divers appareils dépolymérisateurs; il devient très facile de transformer ces poussières charbonneuses en oxyde de carbone et de remettre à neuf les tournures ou pailles métalliques; il suffit d'employer la vapeur d'eau surchauffée à la température de 500 à 600° C. seulement, alors qu'il faut 1000 à 1100° pour oxyder et gazéifier très lentement les épaisses et compactes couches de coke bitumineux qui constituent l'un des divers et graves inconvénients du procédé « Burton » de la Standard Oil Cy, et de

tant d'autres procédés marchant, eux aussi, aux dangereuses pressions dont il a été question précédemment.

En outre, cette opération s'y effectue successivement à d'assez longs intervalles sur tous les appareils de dépolymérisation proprement dits, chacun d'entre eux étant, à cet effet, mis de temps en temps en dehors du cycle opératoire, de sorte que le fonctionnement général du système est ininterrompu.

Des essais pratiques ont été effectués avec l'installation semi-industrielle de la Garenne-Colombes.

Des essais de durée ont été effectués sous la surveillance d'un représentant du Conservatoire national des Arts et Métiers, M. Lecarme, et ont permis des mesures de rendement.

Les matières premières traitées étaient des hydrocarbures résiduels, des huiles de schistes ou des goudrons.

Le premier essai a été effectué avec un fuel-oil écossais, du type adopté par l'Amirauté anglaise pour le chauffage des chaudières de navires.

Ce fuel-oil est le résidu, assez bien purgé de brai, de la distillation des huiles brutes de schistes écossais, c'est-à-dire la partie liquide de ce qui reste dans les cornues après que tous les hydrocarbures légers ou moyens : éthers, essences, huiles lampantes et huiles moyennes, ont été complètement enlevés desdites huiles brutes par une distillation normale ou même par un cracking classique.

La spécification de ce fuel-oil écossais est la suivante :

- a. Température de distillation : depuis 250° jusqu'à 423°;
- b. Densité : 0,885;
- c. Goudron : 9 pour 100;
- d. Point d'inflammabilité : entre 150 et 160°.

Le second des hydrocarbures, ayant fait l'objet des essais en question, est l'huile lourde de pétrole que la Société de Pechelbronn vend sous la dénomination de « Distillé 0,875 », huile qui, dans les appareils perfectionnés des usines alsa-

ciennes, passe à la distillation pyrogénée après l'huile lourde ordinaire appelée couramment « huile à gaz », laquelle ne passe elle-même qu'après le kérosène ou huile lampante, les essences et les éthers.

La spécification de cette huile lourde est la suivante :

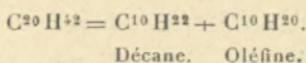
- a. Densité : 0,875;
- b. Point d'inflammabilité : entre 135 et 145°;
- c. Température de distillation : de 235° jusqu'à 410°.

On a constaté que 100<sup>kg</sup> de l'un de ces produits pouvaient donner 60 litres de carburant utilisable pour un moteur à explosion.

Voici comment M. Seigle explique ces heureux résultats :

Un pétrole brut, mélange d'hydrocarbures de la série  $C^n H^{2n+2}$ , étant distillé à 200°, le résidu liquide comprendra l'hydrocarbure  $C^{12} H^{26}$  et ses homologues supérieurs.

Sous une nouvelle action calorifique en présence de catalyseurs appropriés, ces hydrocarbures supérieurs peuvent subir une transformation moléculaire par déplacement d'hydrogène et de carbone suivant les affinités des catalyseurs. La réaction suivante est donc possible :



Or, les oléfines, ou carbures de la série éthylénique ( $C^n H^{2n}$ ) sont beaucoup plus sensibles aux agents chimiques que les carbures saturés.

Sous l'action catalytique, ces produits donnent des carbures cycliques saturés de la série des naphthènes.

Le produit final peut contenir un mélange de produits relativement légers, comme le décane ( $C^{11} H^{22}$ , qui bout à 173°) et les divers hydrocarbures de la série cyclique saturée, comme les cyclobutanes ( $C^4 H^8$ ), le cyclopentane ( $C^5 H^{10}$ ), le cyclohexane ( $C^6 H^{12}$ ), très volatils (températures d'ébullition : 110-500-800°).

Le procédé permet, en faisant agir des catalyseurs appropriés à une température donnée, d'obtenir un produit déterminé quant à ses propriétés physiques (point d'ébullition, point d'inflammabilité, etc.). On peut, il est vrai, obtenir un caractère chimique déterminé, mais cela n'a pas d'importance.

On ne peut être aussi précis pour les huiles de houille qui se rattachent à la série benzénique ( $C^n H^{2n-6}$ ) ou aromatique, en même temps qu'à la série naphthalique ( $C^n H^{2n-12}$ ) et à la série anthracénique ( $C^n H^{2n-18}$ ) et  $C^n H^{2n-20}$ ; chaque charbon différent donnant des goudrons différents suivant la plus ou moins haute température à laquelle on opère la distillation et suivant le mode de distillation. En outre, pour obtenir le produit le plus volatil, le benzène ( $C^6 H^6$ ), il faut moins d'hydrogène que pour obtenir les homologues supérieurs.

Les considérations suivantes sont extraites d'une note de M. Seigle :

1° Dans les carbures benzéniques proprement dits, le benzène ( $C^6 H^6$ ) est le seul intéressant. Or, il ne contient que 8 d'hydrogène pour 100 de carbone, en poids; il bout néanmoins à 80° et est le plus volatil de la série  $C^n H^{2n-6}$ .

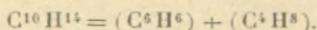
2° Dans la série des carbures benzéniques monosubstitués, homologues supérieurs du toluène, qui entre dans la constitution des benzols, le toluène ( $C^6 H^7$ ), qui contient 9,5 d'hydrogène pour 100 de carbone, et il est loin de constituer un aussi bon carburant que le benzène, puisqu'il bout à 110°.

3° Le benzol contient également du xylène ( $C^8 H^{10}$ ) mélange d'ortho- méta- et paraxylène, bouillant à 142°, — 138° et 136°, qui contient 10 d'hydrogène pour 100 de carbone.

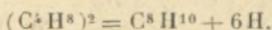
Or, il est beaucoup plus facile de transformer une huile naphthalique ou anthracénique, en vue d'obtenir du benzène

(C<sup>6</sup> H<sup>6</sup>) que d'obtenir des produits intermédiaires comme des xylènes (C<sup>8</sup> H<sup>10</sup>) puisque l'on aura suffisamment d'hydrogène dans l'huile en question pour donner du benzol dont la composition essentielle est C<sup>6</sup> H<sup>6</sup>.

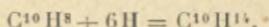
Les réactions types sont les suivantes :



Mais C<sup>2</sup> H<sup>8</sup> est impossible à fixer chimiquement et donne



Nous recueillerons donc pratiquement du benzène, du xylène et de l'hydrogène à l'état naissant qui, pratiquement, va compléter celui insuffisant des produits plus lourds des séries naphthaliques ou anthracéniques pour les transformer en produits plus légers. Par exemple, le naphthalène donne



En définitive, il résulte des considérations qui précèdent que même les huiles anthracéniques ont déjà assez d'hydrogène pour être transformées en benzol, et, qu'*a fortiori*, le goudron des cokeries, dépouillé de son brai et des quelques pour cent de benzol qu'il contient naturellement, en aura excès.

En effet, cette partie du liquide du goudron contient une proportion moyenne d'environ 9 pour 100 d'hydrogène, puisque le goudron brut contient 50 pour 100 de brai, lequel a une teneur de 4 pour 100 d'hydrogène.

*Mesure du rendement industriel.* — Le 9 février 1922, il a été procédé, au Laboratoire de M. Seigle, en présence de M. Lecarme, chef du Service des essais physiques au Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, à un essai dont voici les résultats quantitatifs :

Quantité totale du fuel-oil employé.....	50 litres
Durée de l'opération.....	4 heures
Liquide condensé au deuxième détenteur.....	17 <sup>l</sup> ,500
Essence claire légère.....	22 <sup>l</sup> ,500
Récupération d'essence.....	1 <sup>l</sup> ,500
Gaz riche recueilli.....	7 <sup>m<sup>3</sup></sup> ,125
Consommation du brûleur (3 <sup>l</sup> ,800 à l'heure).....	15 <sup>l</sup> ,200
Pouvoir calorifique de l'essence obtenue (mesuré à la bombe Malher).....	10 225 <sup>cal</sup>

La distillation des 17<sup>l</sup>,500 du produit, recueilli au deuxième détenteur, a donné :

70 pour 100 d'huile, soit.....	12 <sup>l</sup> ,25
30 pour 100 d'essence légère, soit.....	5 <sup>l</sup> ,25

La quantité totale d'essence recueillie est donc de

22 <sup>l</sup> ,500,
1 <sup>l</sup> ,250,
1 <sup>l</sup> ,500,
29 <sup>l</sup> ,250,

soit 58, 5 pour 100 du produit traité.

La quantité d'huile de graissage : 12<sup>l</sup>,25, donne un rendement de 24<sup>l</sup>,5 pour 100.

*Essai au moteur.* — Il a été procédé, le 15 février 1922 au Conservatoire des Arts et Métiers, à un essai au moteur des produits obtenus.

L'essence brute comme pouvoir calorifique à l'obus Malher : 10 225 calories.

L'essai au moteur a accusé une consommation variant entre 500 et 520<sup>cm<sup>3</sup></sup> suivant l'état d'échauffement du moteur (puissance 15 HP).

La consommation moyenne ressort donc à 250<sup>cm<sup>3</sup></sup> environ, ce qui paraît faire ressortir une augmentation de consommation de 10 pour 100.

Il est à remarquer, à ce propos, que l'essence brute obtenue peut subir un raffinage et une rectification, de manière à donner un produit de caractéristiques tout à fait analogues à l'essence tourisme et ayant, en particulier, le même pouvoir thermodynamique; ces opérations n'entraîneraient d'ailleurs qu'une perte de 7 à 8 pour 100.

Aux divers procédés que nous venons d'examiner, on pourrait encore en ajouter d'autres. Nous ne mentionnerons que celui de M. Bourgeois qui fabrique du gaz à l'eau à l'aide du coke de lignite, gaz qu'il transforme en acétylène, puis en carburant. L'exploitation industrielle n'est pas commencée.

CONCLUSION. — Il ne manque pas de procédés pour la fabrication des carburants en partant des lignites, mais il faut d'abord prospecter et exploiter les meilleurs gisements en multipliant les installations de carbonisation. L'un d'eux vient de confirmer ses preuves au Natal, il est adopté par la Société des Mines de Luluaberg qui va traiter, dès cette année, 120 tonnes de lignite sec par jour à l'aide de cornues construites en France par la Société métallurgique du Périgord. Les charbonnages de Millau sont sur le point de « démarrer » avec les fours Pieters et l'on expérimente à Mailhac le four à malaxeur Salerni. Ce sont les premières installations françaises et peu de personnes s'imaginent l'avenir considérable de cette industrie.

---

---

## CHAPITRE XV.

### ÉTUDE DES LIGNITES EN LABORATOIRE (1).

---

**SOMMAIRE.** — Considérations générales. Appareil de Fischer. — Étude du goudron primaire : caractéristiques, distillation, composition. — Évaluation du goudron primaire. — Étude du semi-coke. — Étude des gaz de carbonisation. — Bibliographie.

**Considérations générales. Appareil de Fischer.** — L'étude chimique d'un gisement de lignite ou de schiste marche de pair avec la prospection géologique. Au cours de cette dernière, des échantillons seront prélevés dans les différentes couches et envoyés à un laboratoire outillé pour les analyses et recherches relatives à la carbonisation à basse température (2).

L'analyse immédiate du lignite sera faite par les méthodes connues pour déterminer la teneur en humidité, les matières volatiles, le coke, les cendres, l'azote, le soufre et la chaleur de combustion. Les résultats obtenus permettront déjà de se faire une idée de la valeur du lignite étudié en tant que combustible, mais ils devront être complétés par la détermination du goudron primaire en vue de la carbonisation à basse température.

Les méthodes de laboratoire pour l'évaluation du goudron

---

(1) Ce Chapitre est écrit par M. P. Pétroff, ingénieur-chimiste A. I. L., qui a étudié un grand nombre d'échantillons dans le laboratoire qu'il a organisé spécialement à cet effet à Paris.

(2) Voir à ce sujet, Chapitre I, p. 7.

primaire des lignites, des schistes et des charbons doivent éviter la surchauffe et, par suite, la décomposition du goudron primaire dès sa formation.

L'appareil le plus satisfaisant est sans doute celui de Fischer, directeur de l'Institut Kaiser Wilhelm, lequel a été créé en 1914, à Mulheim-Ruhr, pour l'étude des combustibles.

L'appareil de Fischer présente le grand avantage de permettre de déterminer rapidement la teneur en goudron primaire d'un échantillon de 50<sup>g</sup> de combustible.

Son principe est le suivant : Le combustible est chauffé progressivement dans un faible courant de vapeur d'eau surchauffée, qui a pour but d'entraîner les vapeurs de goudron dès leur formation et de les soustraire ainsi à une pyrogénéation qui les décomposerait.

Le croquis (fig. 48) montre l'appareil construit en alu-

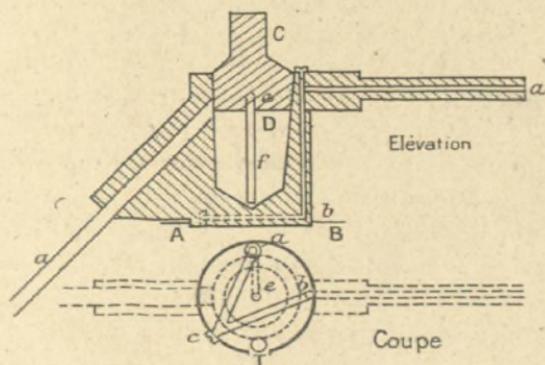


Fig. 48.

minium à cause de son coefficient élevé de transmission de la chaleur. La paroi de la cornue est très épaisse de façon à accroître son inertie aux variations de température, comme le montre les coupes en plan et en élévation, la vapeur d'eau arrive par l'orifice *a*, passe par le canal vertical *b*, circule

dans les canaux disposés dans le fond du creuset où elle se surchauffe, chemine verticalement dans la paroi, pénètre dans le couvercle *c*, et finalement est injectée dans le tube *f* au sein du combustible contenu dans le creuset *d*. En retirant les vis (bien apparentes sur le croquis), on peut nettoyer aisément les canaux où la vapeur circule.

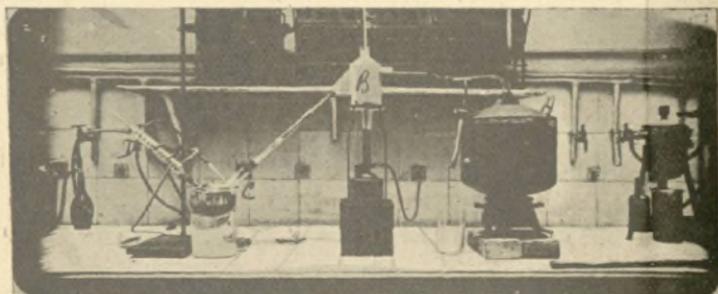


Fig. 49. — Détermination de la teneur en goudron primaire d'un schiste ou d'un lignite au moyen de l'appareil de Fischer (B).

On enferme, dans la cornue B, 50% de lignite pulvérisé et l'on chauffe à l'aide du brûleur à trois becs. Lorsque la température du lignite atteint 135° environ, on fait passer dans l'appareil un courant de vapeur d'eau, réglable par une pince de Mohr, afin déviter qu'une partie du lignite soit entraînée pendant la carbonisation. On continue à chauffer graduellement de façon à atteindre 500 à 550° au bout d'une heure et demie. Le goudron primaire aura alors complètement distillé. Ses vapeurs sont condensées dans un ballon C tubulé de 500<sup>cm<sup>3</sup></sup>, lequel est réuni à la cornue par un tube de verre mastiqué sur le col de celle-ci au moyen d'un peu de bouillie d'amiante en poudre et de silicate de soude sirupeux. Le ballon est refroidi par aspersion d'eau, après que sa tubulure aura été réunie à un réfrigérant ascendant D, ayant pour but de condenser les parties plus volatiles. Dans la description de sa méthode, Fischer ne donne pas d'explications précises quant à la façon d'opérer

pour isoler le goudron à l'état anhydre et sans poussières de son mélange avec l'eau condensée dans le ballon tubulé. C'est ce qui a fait dire souvent que la méthode de Fischer ne donnait pas des résultats comparables, car la séparation par décantation du goudron et de l'eau est pour ainsi dire impossible à cause de l'état d'émulsion dans lequel se trouve le mélange.

Nous avons opéré de la façon suivante, qui nous a donné des résultats constants en opérant plusieurs fois sur le même lignite.

Le mélange d'eau et de goudron, contenu dans le tube, le ballon et le réfrigérant, est traité par l'éther sulfurique à 66° B. On sépare la solution éthérée au moyen d'une ampoule à décantation, la dessèche avec 2<sup>g</sup> de sulfate de soude anhydre et la filtre sur un petit filtre, dans un matras taré, lequel reçoit aussi l'éther de lavage du filtre. Le matras est réuni à un réfrigérant descendant et chauffé au bain-marie à 50° pour distiller l'éther. Il est ensuite laissé dans l'étuve entre 40 et 50°, jusqu'à poids constant, ce qui a lieu généralement au bout de 5 à 6 heures. On obtiendra ainsi le poids du goudron primaire contenu dans 50<sup>g</sup> de lignite.

*Résultats obtenus avec l'appareil de Fischer.*

Origine.	Goudron primaire anhydre pour 100.
Lignite de Mailhac (Aude).....	12,94
Lignite de Calamiac (Hérault).....	15,35
Schiste de Mailhac (Aude).....	11,12
Lignite de Saint-Lon (Landes).....	8,2
Lignite de Nousty (Pyrénées).....	7,3
Lignite de Bilbao (Espagne).....	4,3
Lignite de Manosque gras (Basses-Alpes)...	12,89
Lignite de Manosque maigre (Basses-Alpes).	5,92
Charbon flambant.....	12
Cannel coal.....	29
Lignite saxon.....	24
Charbon de la Sarre Velsen.....	12,14
Charbon de la Sarre flambant.....	9,12

L'appareil de Fischer peut donc rendre de grands services lors de la prospection d'un gisement, en permettant d'évaluer très rapidement les rendements en goudron primaire d'échantillons prélevés sur différentes couches. Les indications relatives à la quantité de goudron seront complétées par l'examen du semi-coke restant dans l'appareil après la distillation dont on déterminera, comme pour le lignite, les teneurs en matières volatiles, cendres, carbone fixe, soufre et azote après l'avoir pesé.

**Étude du goudron primaire.** — Pour celle-ci, il faut pouvoir disposer d'une quantité de goudron de 500<sup>g</sup> environ, que l'on produira en distillant à basse température une quan-

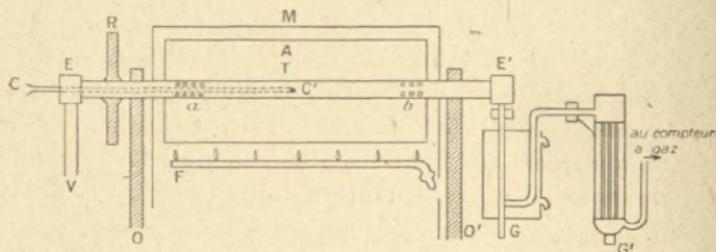


Fig. 50.

A, tambour en tôle mû à raison de 3 tours par minute par la roue dentée R; T, axe du four, constitué par un tube creux et percé de trous *a* et *b*; V, introduction de vapeur d'eau; E et E', presse-étoupe; G et G', condenseur de goudron; C et C', couple thermo-électrique; F, rampe à gaz; O et O', supports; M, enveloppe protectrice. La vapeur d'eau est introduite en V, entre dans le four en *a* et en ressort en *b* en entraînant les vapeurs de goudron.

tité de combustible de 10<sup>kg</sup> environ, dans un four établi selon les principes rationnels de la carbonisation à basse température. Fischer emploie à l'Institut du charbon de Mulheim un appareil représenté par la figure 50.

*Cornue Salerni.* — Nous avons installé, au Laboratoire des huiles minérales, un four d'une contenance plus faible, et constitué par un élément de cornue Salerni, permettant de carboniser, en une opération, 10<sup>kg</sup> de combustible pulvérisé.

L'appareil (fig. 51) est constitué par un tambour fixe

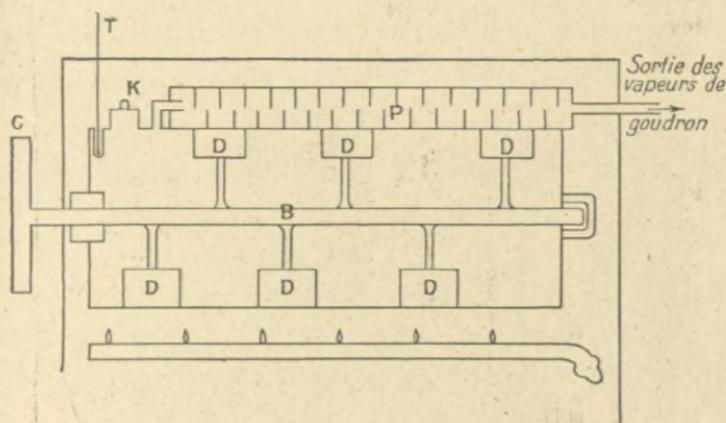


Fig. 51.

en tôle forte soudée à l'autogène, et traversé horizontalement par un arbre B pouvant être mû soit à la main, soit par une poulie O et portant des palettes alternées, dont l'office est de racler, en tournant, toute la surface intérieure de l'appareil, de façon que la masse entière du lignite soit suffisamment remuée pour que les vapeurs de goudron, aussitôt formées, puissent se dégager et être ainsi soustraites à la surchauffe. Le lignite est introduit par le bouchon K et les vapeurs, après avoir traversé le dépoussiéreur à chicanes P, s'échappent dans le réfrigérant R. La cornue est chauffée par-dessous au moyen d'une rampe à gaz et le thermomètre T, qui peut être remplacé par un couple thermo-électrique, permet de relever la température des vapeurs à des intervalles de temps réguliers.

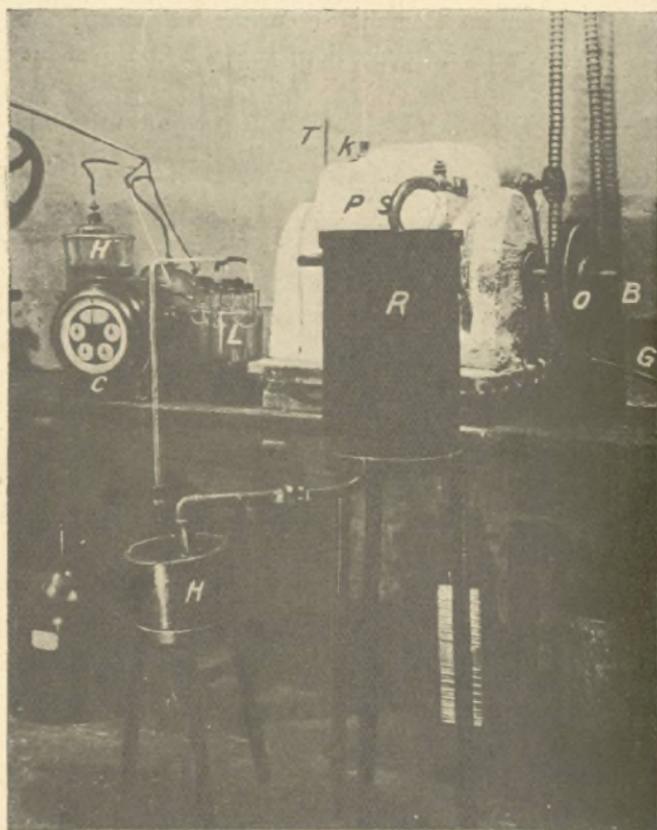


Fig. 52.

F, Cornue Salerni garnie de son revêtement en briques; B, arbre du malaxeur; O, roue dentée; K, bouchon fileté; T, thermomètre; G, arrivée du gaz destiné à chauffer la cornue; S, sortie des vapeurs de goudron; R, serpentin-réfrigérant; H, récipient recevant le goudron; L, laveurs des gaz; H', préleveur de gaz; C, compteur.

L'arbre du malaxeur peut être mù électriquement et l'on disposera, dans ce cas, d'un système d'engrenages permettant de faire varier le nombre de tours entre 15 et 25 par minute.

Les gaz de carbonisation, se dégageant à l'extrémité de l'appareil, sont débarrassés de leur hydrogène sulfuré par barbotage dans trois flacons laveurs, le dernier servant de témoin. Les gaz passent ensuite dans un compteur d'expérience permettant de mesurer, non seulement le volume des gaz dégagés, mais encore le débit horaire de ceux-ci, par observation d'une minute. Un appareil mesureur de gaz (burette de Bunte) est branché en dérivation à la suite du compteur, et servira à prélever des volumes de gaz proportionnels aux dégagements enregistrés sur le compteur aux différentes périodes de la carbonisation que l'on désirera étudier.

L'installation, telle qu'elle est décrite ci-dessus, et représentée par la figure 52, permet de déterminer à la fois les rendements en goudron primaire, eau de carbonisation, gaz et semi-coke, dans différentes conditions de vitesse de chauffage, d'agitation de la masse à carboniser et de concassage du lignite.

Elle permet aussi de suivre la marche de la carbonisation en séparant, à des intervalles de temps donnés, les produits de celle-ci (goudron, eau et gaz).

Généralement, la vitesse de 20 tours par minute de l'arbre à palettes est la plus favorable; quant au chauffage de la cornue, plus il est fait progressivement, c'est-à-dire plus la durée de la carbonisation jusqu'à 550° est prolongée et plus le rendement en goudron et sa qualité sont augmentés.

*Caractéristiques du goudron primaire.* — L'échantillon destiné à l'analyse est d'abord complètement déshydraté.

Pour cela, après l'avoir pesé, on le chauffe dans un grand récipient à étroite ouverture, faisant office d'alambic et

dont le volume est d'environ dix fois celui du goudron à déshydrater. On y adapte un réfrigérant descendant et un thermomètre et on le chauffe modérément sur un fourneau à gaz jusqu'à ce que l'eau contenue dans le goudron ait complètement distillé dans une éprouvette graduée, placée à l'extrémité du réfrigérant. On arrête l'opération lorsque le thermomètre, plongé dans les vapeurs, indique une température de  $150^{\circ}$ . L'eau distillée, rassemblée dans l'éprouvette, s'y sépare aisément des huiles légères qu'elle

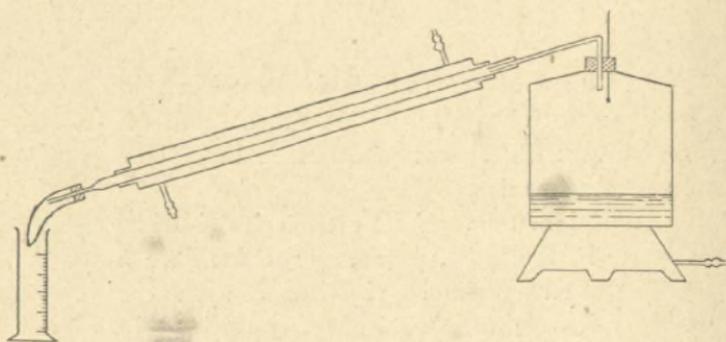


Fig. 53.

aura entraînées et peut ainsi être mesurée. Les huiles légères, décantées au moyen d'un entonnoir à robinet, sont réunies au goudron déshydraté de l'alambic.

Ainsi, tout en déshydratant le goudron, on a déterminé sa teneur en eau.

Sur le goudron déshydraté, on détermine, au moyen du densimètre de 850 à 1000, la densité à  $40^{\circ}$  C., car à une température inférieure à  $30^{\circ}$  C. le goudron est le plus souvent pâteux à cause de la paraffine qu'il contient.

La densité du goudron dépend, non seulement du lignite, mais encore de la façon dont celui-ci a été carbonisé.

Les anciens lignites allemands, très riches, donnaient un goudron d'une densité voisine de celle des huiles de

schistes, c'est-à-dire de 850 environ, alors que pour les gisements actuellement exploités elle n'est que rarement inférieure à 900. Pour les lignites du sud de la France, nous avons obtenu des densités voisines de 950 par carbonisation dans un four à brassage intérieur, tandis qu'avec un four fixe, l'huile obtenue avait une densité voisine de 1000. On sait, d'autre part, que le goudron de haute température ou goudron d'usine à gaz pèse 1100 environ.

Le point de congélation de l'huile est déterminé par la méthode galicienne ou du thermomètre tournant.



Fig. 54. — Prise du point de fusion de la paraffine par la méthode du thermomètre tournant.

La *chaleur de combustion* et la *teneur en soufre* sont déterminées simultanément au moyen de la bombe calorimétrique, en opérant sur environ 1<sup>g</sup> d'huile pesé dans une petite coupelle en quartz ou en platine. L'huile contiendra d'autant plus de soufre que le lignite dont elle provient sera riche en cet élément.

Lors de la carbonisation à basse température, une partie du soufre passe dans les gaz sous forme d'hydrogène sulfuré,

une autre dans l'huile en tant que combinaisons sulfurées organiques, mais la plus grande partie reste dans le semi-



Fig. 55. — Bombe calorimétrique et presse à pastilles.  
Pouvoir calorifique, dosage du soufre.

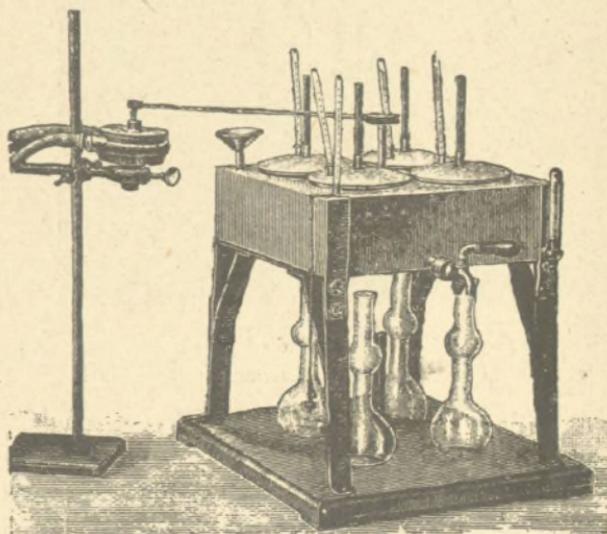


Fig. 56. — Viscosimètre d'Engler.

coke. C'est ainsi qu'un lignite de l'Aude à 6 pour 100 de soufre a donné, par carbonisation, un gaz contenant 3 pour 100 d'hydrogène sulfuré, une huile à 4 pour 100 et un semi-coke

à 4,7 pour 100 de soufre total. Un lignite de Saxe à 0,5 pour 100 de soufre a donné une huile primaire à 0,2 pour 100, des gaz à 0,3 pour 100 et un semi-coke à 0,4 pour 100 de soufre.

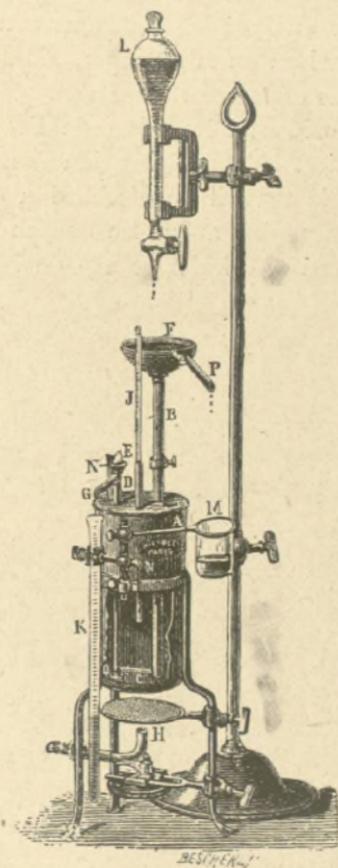


Fig. 57. — Ixomètre de Barbey.

La *viscosité* du goudron est déterminée au moyen du viscosimètre d'Engler (fig. 56) ou de l'ixomètre Barbey à 50° (fig. 57). Elle se tient, lorsque le goudron contient de 5 à 10 pour 100 de paraffine aux environs de 3,5 à 50°.

Les *matières solides en suspension* sont principalement constituées par du poussier, entraîné par les vapeurs d'huile au cours de la carbonisation, lorsque les dépoussiéreurs des fours fonctionnent mal par suite d'un nettoyage insuffisant. Nous avons analysé les goudrons contenant jusqu'à 5 pour 100 de charbon en suspension, alors que la teneur normale ne doit pas dépasser 1 pour 100.

Ce poussier favorisant l'émulsion de l'eau dans l'huile s'opposera, par suite, à leur séparation dans les réservoirs de décantation et le travail de distillation du goudron en sera rendu beaucoup plus ardu. Le dosage du poussier se fait en mélangeant 10<sup>g</sup> d'huile et 25<sup>g</sup> de benzine cristallisable, chauffant légèrement et filtrant la solution sur filtre taré, qui est ensuite lavé avec un peu de benzine cristallisable puis séché et enfin pesé.

Les *points d'inflammation et de combustion* seront déterminés au moyen des différents appareils représentés par la figure 58.

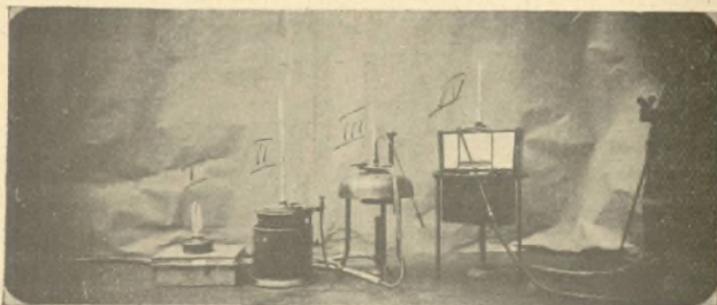


Fig. 58. — Appareils Granier, Luchaire, Peusky et Marcussou pour la détermination du point d'inflammation des huiles.

*Distillation du goudron primaire.* — Selon la méthode employée dans les usines de carbonisation allemandes; on sépare le goudron en trois fractions principales par une

simple distillation à feu nu effectuée dans une cornue en bronze, représentée par la figure 59 (1).

On sépare ainsi :

- 1° Les huiles moyennes brutes de 35 à 275° environ;
- 2° Le distillat paraffineux de 275 à 375° environ;
- 3° Les huiles rouges de 375 à 425° environ;
- 4° Le coke de goudron de lignite.

La cornue est en deux parties réunies par quatre boulons.

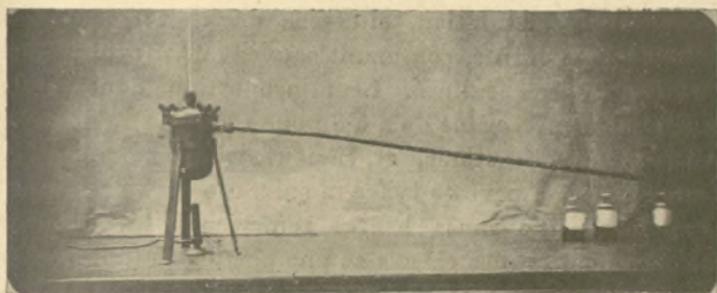


Fig. 59. — Cornue en bronze avec tube réfrigérant en cuivre pour la distillation du goudron primaire déshydraté et fractionnement de ce dernier en : 1° huiles moyennes brutes; 2° distillat paraffineux; 3° huiles rouges; 4° coke de lignite.

Son couvercle est percé d'un orifice pour le thermomètre, et un tube en cuivre mince de 1<sup>m</sup> environ, faisant office de réfrigérant, est fixé par un raccord sur le côté de la cornue.

On opère sur 400<sup>g</sup> d'huile primaire, préalablement déshydratée et l'on chauffe avec un bon brûleur à gaz. Lorsqu'une goutte du liquide distillé montre un commencement de solidification au contact d'un morceau de glace placé à l'extrémité du tube réfrigérant, on note la température et l'on change le récipient taré, destiné à recevoir

---

(1) Construit par M. Fleph, mécanicien, 12, rue des Immeubles-Industriels, à Paris.

le produit de la distillation. A ce moment, le thermomètre marque généralement environ  $275^{\circ}$ , les huiles moyennes et légères ont distillé et le distillat paraffineux commence à passer. On note de nouveau la température lorsque les huiles de couleur rouge apparaissent à l'extrémité du réfrigérant et l'on recueille ces dernières à part. On poursuit alors la chauffe jusqu'à ce qu'il ne distille plus rien. Il reste au fond de la cornue un résidu solide dénommé coke de goudron de lignite par analogie avec le coke de pétrole obtenu de manière identique par distillation à sec du naphte brut.

Pendant la distillation, ci-dessus décrite, il se dégage des gaz très odorants, contenant souvent une forte proportion d'hydrogène sulfuré. Leur proportion dans l'huile est généralement voisine de 2 à 3 pour 100.

Chacune des fractions, et surtout les deux premières, seront étudiées à part de la façon suivante :

Les huiles moyennes brutes renferment les essences, les huiles solaires, des crésols et une partie des huiles à gaz, alors que le distillat paraffineux contient l'autre partie des huiles à gaz, les huiles de graissage, la paraffine et des crésols supérieurs. On déterminera la teneur en crésols et autres produits absorbables par la soude en agitant ensemble dans un tube gradué de  $50\text{ cm}^3$ ,  $15\text{ cm}^3$  d'huile et  $15\text{ cm}^3$  de lessive de soude à  $18^{\circ}$  B. On chauffe le tube au bain-marie jusqu'à séparation nette des deux couches et l'on note la diminution de volume de l'huile. On obtient ainsi la quantité de crésols contenus dans  $15\text{ cm}^3$  d'huile. Les huiles moyennes brutes contiennent de 15 à 25 pour 100 et le distillat paraffineux de 10 à 20 pour 100 de produits absorbables par la soude.

Le dosage de la paraffine, dans le distillat paraffineux est effectué par les méthodes de Zaloziecki ou de Holde couramment employées pour le dosage de ce constituant dans les pétroles. Selon Zaloziecki, on mélange l'huile à de l'alcool amylique additionné d'alcool éthylique et l'on refroidit le tout à une température de  $-50^{\circ}$  environ pendant

3 heures, dans un mélange réfrigérant. La bouillie paraffineuse ainsi obtenue est alors filtrée au moyen d'un entonnoir en porcelaine à double paroi, l'enceinte circulaire étant garnie d'un mélange réfrigérant. On lave avec le mélange d'alcools amylique et éthylique la paraffine restée sur le filtre, puis on la dissout dans un peu de benzine cristallisable dans un petit matras taré que l'on chauffe

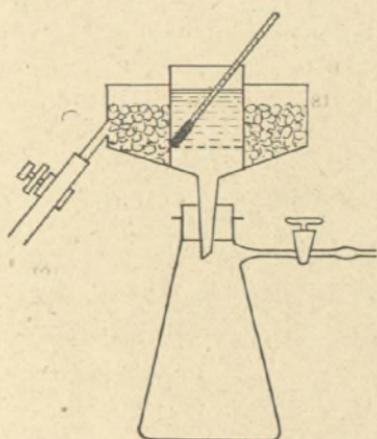


Fig. 60.

d'abord au bain-marie pour distiller le dissolvant, et ensuite à l'étuve jusqu'à poids constant. Le distillat paraffineux contient de 10 à 25 pour 100 de paraffine, selon la qualité du lignite et le mode de carbonisation employé. Le point de fusion de la paraffine sera déterminé par une des méthodes décrites dans les traités d'analyses des corps gras.

Les huiles moyennes brutes décrésoles par la lessive de soude à 18° B. seront soumises à la distillation fractionnée dans l'appareil normal pour l'essai par distillation des carburants dont les dimensions ont été fixées par le troisième Congrès du Pétrole.

Cent centimètres cubes d'huile sont introduits dans le

*Composition de quelques goudrons primaires.*

	Goudrons			Goudrons		
	de basse température de lignites allemands.			de tourbe russe.	de générateur.	de lignite français.
Densité.....	0,886	0,867	0,917	0,936	0,973	0,965
Début de la distilla- tion.....	130°	190°	174°	195°	243°	70°
Huiles moyennes brutes (pour 100) ..	37,5	30	24,1	20	84	30
Distillat paraffineux (pour 100).....	55,5	63	68,9	74,1	74,93	57
Point de solidification du distillat paraffi- neux.....	25,8	29,8	26,1		31	26,7
Teneur en phénols (pour 100) des huiles moyennes brutes...	15	11	19,5	35		26
Teneur en phénols (pour 100) du distil- lat paraffineux.....	6	9	7	35	17,3	20,6
Teneur en paraffine (pour 100) du distil- lat paraffineux.....	22	23,3	18,2		9,72	18
Teneur en paraffine (pour 100) du gou- dron primaire.....	12,5	14,67	12,53	9,96		10,3
Point de fusion de la paraffine.....	46,7	51	52,7	59,2	54,2	56

*Nota.* — Les chiffres des colonnes 1, 2, 3, 4 et 5 ont été relevés dans l'ouvrage de Graefe (*Laboratoriumsbuch für die Braunkohlenteer Industrie*). Ceux de la colonne 6 sont relatifs au goudron de lignite de Mailhac (Aude) étudié par nous.

ballon d'Engler standard taré de cet appareil au moyen d'un entonnoir à longue douille. On adapte un thermomètre et l'on chauffe le fond du ballon de façon que 2 gouttes du distillat tombent chaque seconde à l'extrémité du

réfrigérant. On notera le volume des fractions passant :

1 <sup>o</sup> Entre le début de la distillation et 150 <sup>o</sup> .....	Essences légères
2 <sup>o</sup> Entre 150 et 200 <sup>o</sup> .....	Essences lourdes
3 <sup>o</sup> Entre 200 et 300 <sup>o</sup> .....	Huiles solaires

et sur chacune des fractions on détermine la densité et l'indice de réfraction.

Le résidu, bouillant au-dessus de 300<sup>o</sup>, contient les huiles de graissage, la paraffine et l'asphaltène.

On prélève 10<sup>cm<sup>3</sup></sup> de ce résidu et l'on pèse de nouveau le ballon. L'échantillon prélevé sert au dosage de l'asphaltène par précipitation à l'éther de pétrole.

Le ballon d'Engler est alors fermé par un bouchon de liège, sa tubulure réunie à un réfrigérant à air et la distillation est rapidement conduite jusqu'à sec. Le ballon est pesé pour avoir le poids du coke résiduel. On prélèvera un échantillon du distillat pour le dosage de la paraffine par la méthode précédemment décrite.

**Évaluation du goudron primaire.** — Celui-ci peut être ou bien séparé en ses différents constituants, tels que essences, huiles solaires, huiles de graissage, paraffines, crésols, etc., chacune de celles-ci étant purifiées séparément, comme on le fait dans les raffineries de pétrole, ou bien soumis à l'état brut après avoir été simplement déshydraté, au craking simple ou accompagné de catalyse dans le but de le transformer directement en carburant avec, comme sous-produits, des gaz, de l'asphalte et des crésols.

Pour une étude de raffinage, il faut disposer de quelques kilogrammes de goudron primaire que l'on soumettra pour commencer à une distillation effectuée soit dans un vide partiel, soit dans un courant de vapeur d'eau surchauffée pour ne pas détériorer, par une trop forte élévation de température, les constituants à haut point d'ébullition du goudron, tels que les huiles de graissage.

Voici comment nous avons opéré pour l'étude des goudrons de lignite de l'Aude.

La figure 61 représente un dispositif qui nous a permis de distiller rapidement des quantités notables de goudron au moyen d'un courant de vapeur d'eau surchauffée. La vapeur générée dans l'alambic A est surchauffée en passant

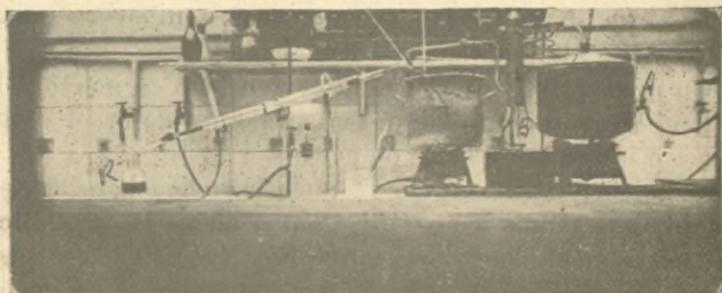


Fig. 61. — Distillation des huiles de lignites et de crésols à la vapeur d'eau surchauffée.

dans le surchauffeur B. De là elle passe dans le ballon D chauffé dans le bain d'air C. Les thermomètres T<sup>1</sup>, T<sup>2</sup> et T<sup>3</sup> donnent les températures respectives de la vapeur à la sortie du surchauffeur, du bain d'air et du mélange des vapeurs d'eau et d'huile à leur sortie du ballon. On règle le chauffage du bain d'air pour que T<sup>1</sup> soit égal ou très voisin de T<sup>2</sup>. On séparera le distillat en huiles moyennes brutes et en distillat paraffineux à partir du moment où une goutte du liquide distillé commence à se congeler au contact d'un morceau de glace placé à l'extrémité du réfrigérant.

La distillation de la fraction paraffineuse sera poussée jusqu'à ce que la vapeur n'entraîne plus que de petites quantités d'huile. Le résidu resté dans le ballon étant constitué d'asphalte plus ou moins dur, selon que la distillation a été plus ou moins poussée.

Les huiles moyennes brutes seront décantées de l'eau

sous-jacente, et traitées par de la lessive de soude à 18-20° B. pour en retirer tous les crésols qu'elles contiennent. On les lave ensuite avec de l'acide sulfurique à 10 pour 100 pour en éliminer les bases pyridiques et on les soumet ensuite à la distillation fractionnée pour en obtenir les essences légères, essences lourdes et huiles solaires, qui seront traitées séparément à froid par le chlorure d'aluminium (2 pour 100) et la lessive de soude puis rectifiée une dernière fois.

Le distillat paraffineux sera de même traité au bain-marie, par la lessive de soude à 18-20° B. pour en éliminer les crésols supérieurs qu'il contient. On obtient alors une bouillie constituée par un mélange d'huiles à gaz, d'huiles de graissage (huiles de paraffine) et de paillettes de paraffine. On dissout le tout dans de l'essence légère de pétrole, ne réagissant pas avec de l'acide sulfurique et l'on traite la solution par de l'acide sulfurique à 25 pour 100 pour éliminer les substances asphaltiques et résineuses; on lave à l'eau, puis on sépare l'essence de pétrole par distillation dans le vide.

Pour séparer la paraffine on ajoute de l'acétone et l'on refroidit le mélange à  $-10^{\circ}$ . La paraffine cristallise par suite de sa très faible solubilité dans l'acétone à basse température. On filtre sur l'entonnoir à double paroi, décrit précédemment, qui retient la paraffine en laissant passer la solution des huiles dans l'acétone.

On distille l'acétone au bain-marie et le résidu constitué par un mélange d'huile à gaz et d'huiles de graissage est distillé dans un courant de vapeur d'eau surchauffée, dont la température sera réglée pour chaque espèce de goudron primaire de façon à séparer premièrement les huiles à gaz et ensuite les huiles de graissage. (On se basera principalement pour cette séparation sur la température d'inflammation des fractions et leur viscosité.) Il restera dans le ballon un peu d'asphalte résiduel.

La fraction huiles de graissage pourra toujours, par la même méthode, être séparée en huiles de graissage légères,

moyennes et visqueuses, en élevant progressivement la température de la vapeur surchauffée et en observant le point d'inflammation et la viscosité des différentes fractions (1).

*Crésols.* — Les solutions sodiques des crésols, des huiles moyennes et du distillat paraffineux, seront traitées séparément par la vapeur d'eau surchauffée pour en éliminer les hydrocarbures, les bases pyridiques et autres corps basiques. On les traitera ensuite par de l'acide chlorhydrique concentré du commerce pour en libérer les crésols qui seront séparés par décantation.

On procédera alors à la rectification des crésols bruts, d'abord à feu nu jusqu'à la température de 250° dans les vapeurs, et ensuite au moyen d'un courant de vapeur d'eau surchauffée jusqu'à ce qu'il reste dans le ballon un résidu, soit d'asphalte, soit de coke, selon que la distillation aura été poussée plus ou moins loin.

Les huiles moyennes des goudrons de lignite de l'Aude nous ont donné des huiles créosotées qui, rectifiées, ont fourni 70 pour 100 d'un mélange de crésols présentant les caractéristiques suivantes :

Densité : 1,026; soufre : 0,46; pouvoir calorifique : 8307<sup>cal</sup>; point d'inflammation : 100°.

*Fractionnement dans ballon Engler-Standard.*

	pour 100
De 100 à 170°.....	1
De 170 à 180.....	0,5
De 180 à 190.....	1,5
De 190 à 200.....	38
De 200 à 210.....	26,5
De 210 à 220.....	13,5
De 220 à 230.....	7
De 230 à 240.....	3,5
De 240 à 250.....	2,2
De 260 à 270.....	1
De 270 à 280.....	1,3
De 280 à 290.....	0,5
Résidu.....	2

(1) *Chimie et Industrie.* — Le pétrole à Madagascar, p. 1047, mai 1924.

soit plus de 50 pour 100 avant  $210^{\circ}$  et en totalité avant  $300^{\circ}$  (1). On remarquera d'autre part que les corps à fonction phénolique représentent pour le lignite de l'Aude le cinquième du goudron primaire, alors que le goudron, obtenu par Fischer, des charbons allemands, contient 50 pour 100 de crésols.

Les crésols pouvant être transformés en hydrocarbures benzéniques correspondants par la méthode de Fischer en faisant passer leurs vapeurs entraînées par un courant d'hydrogène dans un tube de fer étamé, chauffé aux environs de  $750^{\circ}$  avec des rendements voisins de 80 pour 100, il est intéressant d'essayer par cette méthode pour chaque goudron de lignite ce que ces crésols donneront en hydrocarbures en les catalysant de cette façon.

Lorsque tous les dérivés du goudron primaires auront



Fig. 62. — Réfractomètre de Zeiss.

été isolés et purifiés, on déterminera leurs constantes physiques telles que densité, viscosité Engler ou fluidité Barbey, le point d'inflammation, l'indice de réfraction, la courbe de distillation et la chaleur de combustion. De

---

(1) *Les Matières grasses*, mai 1924, p. 6784.

même, on déterminera les teneurs en crésols, en paraffine et en soufre. Les combinaisons non saturées peuvent être évaluées en traitant à froid les essences et huiles par 5 à 10 pour 100 de leur poids de chlorure d'aluminium anhydre, qui a une action polymérisante sur les doubles liaisons et en observant la diminution de volume ainsi produite. L'indice d'iode donne également de bons renseignements sur la proportion des combinaisons non saturées contenues dans l'huile. On la détermine par les méthodes connues de Wysj et de Hubl.

Voici, selon Graefe (*Die Braunkohlenteer Industrie*, p. 100), ce qu'un goudron de basse température provenant d'un lignite allemand a donné au raffinage (voir tableau ci-contre).

**Étude du semi-coke.** — Une entreprise de carbonisation de lignite étant d'autant plus rentable que le semi-coke peut trouver un écoulement plus rémunérateur, il sera intéressant d'examiner ce sous-produit en laboratoire et d'en déterminer ses principales caractéristiques telles que matières volatiles, cendres, soufre, azote et pouvoir calorifique.

La combustibilité sera étudiée en la comparant à celle d'autres semi-coke ou combustibles connus en se servant d'un petit fourneau muni, à la place de grille, d'une plaque perforée sur laquelle brûle le semi-coke et au-dessous de laquelle se trouve un cendrier.

La fusibilité des cendres du semi-coke sera intéressante à connaître, surtout si le produit doit être employé comme combustible pulvérisé. On essaiera aussi le semi-coke comme désodorisateur et clarificateur des eaux de carbonisation qui sont troubles et malodorantes, en faisant traverser à un volume donné de celles-ci, une couche de semi-coke pulvérisé.

Des essais d'agglomération de semi-coke avec un peu de lignite cru et brai seront aussi effectués en s'aidant d'une

TABLEAU V.

	Pour 100 du goudron.	Densité.	Distillation entre	Point d'in- flammation Pensky Martens.	Viscosité Engler à 20°.	Teneur en phénols.	Chaleur de combustion.	Indice de réfraction
Benzine légère....	0,5-1	0,790-0,800	100-150	-5-0	0,8-0,9		10 700	1,457
Benzine lourde....	2-3	0,800-0,820	130-200	25-30	0,9-1		10 650	1,460
Huile solaire.....	2-5	0,820-0,835	150-270	30-40	1		10 650	1,469
Huile à nettoyer..	8-12	0,845-0,870	200-300	60-80	11-12	0,1-0,2	10 550	1,485
Gas-Oil.....	25-30	0,875-0,900	200-235	80-90	12-14	0,5-2	10 550	1,505
Huile de paraffine.	15-20	0,900-0,920	230-350	100-110	2-3	0,5-3	10 450	1,513
Paraffine dure....	9-12		190-200				11 150	
Paraffine molle....	3-5		190-200				11 150	
Huile phénolée....	5-10	0,950-0,980	200-300	80-90	17-22	40-50	9 000	
Asphalte.....	13-5	sup. à 1	190-200					
Coke de lignite....	2						8 000	

petite presse à briquettes comprimant le mélange, préalablement chauffé à 120°.

**Étude des gaz de carbonisation.** — Selon le mode de carbonisation, la marche de celle-ci et la nature du lignite traité, 100<sup>kg</sup> de ce dernier peuvent donner de 8 à 15<sup>m<sup>3</sup></sup> de gaz dont la composition est extrêmement variable.

Les gaz seront analysés de préférence par la méthode de Bunte, très bien décrite dans le *Manuel de Chimie gazière* de Sainte-Claire Deville, auquel nous renverrons le lecteur désirant se familiariser avec l'analyse des gaz.

Dans une même carbonisation à basse température, la composition du gaz varie selon le stade de celle-ci. La teneur en hydrogène et en hydrocarbures condensables augmente; par contre, celle en méthane et en oxyde de carbone diminue à mesure que le temps qui s'est écoulé depuis le début de la carbonisation augmente. La densité du gaz diminue rapidement du début à la fin de l'opération de carbonisation, ce qui est la conséquence de l'appauvrissement du gaz en méthane et inversement son enrichissement en hydrogène.

Les teneurs en azote et oxygène sont extrêmement variables pour un même lignite, selon que les cornues de carbonisation sont plus ou moins étanches. Certains systèmes de fours admettant de fortes rentrées d'air peuvent donner des gaz contenant jusqu'à 40 pour 100 d'azote.

La chaleur de combustion des gaz, en vertu de ce qui précède, est aussi très variable. On la déterminera au moyen du calorimètre de Junker.

Les gaz de carbonisation contiennent de 20 à 40<sup>g</sup> d'hydrocarbures condensables par mètre cube. On peut déterminer leur proportion en faisant passer un volume connu de gaz dans un tube en U taré, plongé dans un mélange réfrigérant constitué par une bouillie d'acide carbonique solide et d'acétone.

Pour terminer, nous dirons que le chimiste chargé de l'étude complète d'un lignite pourra souvent avec fruit demander le concours d'industriels compétents pour rechercher l'utilisation des dérivés et sous-produits.

C'est ainsi que le semi-coke pourra être confié soit à des fabricants d'agglomérés, soit à des constructeurs d'appareils de chauffage au charbon pulvérisé. Les crésols à l'état brut seront essayés sous forme d'émulsion pour le créosotage des bois et à l'état purifié pour la fabrication de bakélite. Quant au carburant, principal, produit marchand de la carbonisation à basse température, il sera toujours bon de le faire essayer par un laboratoire spécialisé comme celui que l'Automobile-Club de France possède à Neuilly et où sont installés plusieurs bancs d'essai, qui permettront de déterminer pour un carburant donné les consommations avec différents gicleurs et diffuseurs du carburateur, la facilité de mise en marche, la régularité de fonctionnement du moteur, l'encrassage de celui-ci après un ou deux jours de marche, etc. (1).

#### Bibliographie.

GRAFFE, *Laboratoriumbuch für die Braunkohlenteer-Industrie.*

GRAFFE, *Die Braunkohlenteer-Industrie.*

SAINTE CLAIRE DEVILLE, *Manuel de Chimie gazière.*

---

(1) Les laboratoires du Service technique de l'Aéronautique sont très fortement outillés et organisés.

---

## CHAPITRE XVI.

### VENTE DES SOUS-PRODUITS.

---

SOMMAIRE. — Applications diverses. — Examen de quelques résultats financiers. — Organisation commerciale pour la vente des sous-produits.

**Applications diverses.** — Nous avons déjà donné, dans le cours des Chapitres précédents, au fur et à mesure qu'elles se présentaient, les applications les plus intéressantes des produits lignitifères : briquettes de combustible cru auto-aggloméré, agglomérés de semi-coke, gaz pauvre pour force motrice, gaz d'éclairage ou de chauffage, carburants, solvants; huiles combustibles, lampantes, lubrifiantes; cires, paraffines, phénols, crésols, matières colorantes, parfums, explosifs, produits chimiques et pharmaceutiques divers, succédanés de l'essence de térébenthine.

Nous ne pouvons nous répéter et nous ferons simplement observer que, si l'on envisage une période embrassant plusieurs années, les cours de ces divers produits pourront varier d'une façon assez marquée. Il en résulte qu'une entreprise comportant des immobilisations notables doit être prévue pour tirer, en tout cas, le meilleur parti du lignite extrait.

Les usines doivent donc, autant qu'il est possible, être en mesure de fabriquer tout produit dont la valeur augmenterait, aux dépens si cela est nécessaire, de la production d'une autre substance, momentanément ou pour toujours, délaissée. En un mot, il n'est pas prudent de viser uniquement

à la vente d'un produit ou d'une seule catégorie de produits.

D'autre part, l'extraction des produits les plus chers, donc les plus rares, ne peut se faire économiquement que dans de grosses exploitations. Les autres auront donc intérêt, en général, à s'associer afin de rectifier, dans une usine centrale, la masse d'huile indispensable à une marche économique donnant des bénéfices.

Il faut observer d'ailleurs que non seulement les quantités mais les qualités des huiles dépendent beaucoup des lignites et qu'il serait difficile de fabriquer, quand même, une série bien définie de sous-produits commerciaux.

Cette série sera sans doute assez différente des huiles minérales et des huiles de houille; il n'y aura aucun intérêt, semble-t-il, à essayer d'imiter exactement les produits analogues existants; il vaudra mieux chercher à imposer les produits lignitifères dont les qualités, en général, pourraient être plus appréciées. Les huiles de lignite sont supérieures aux huiles de goudron de houille par exemple, à cause de leur forte teneur en paraffine et de l'absence de naphthaline et d'antraène.

Mais, quelle que soit la valeur des huiles, elles seront toujours des sous-produits, non pour la valeur mais pour le tonnage.

Il serait facile d'écouler les gaz pour l'éclairage et le chauffage si les mines n'étaient généralement pas éloignées de toute grande agglomération, particulièrement de tout centre industriel; leur seule utilisation sera souvent le chauffage même des appareils de traitement.

Le semi-coke est un bon combustible qu'on pourra passer au gazogène s'il est cendreuse ou, sinon, agglomérer sous forme de boulets ou de briquettes avec le brai de la distillation du goudron pour constituer un très bon charbon industriel ou ménager.

D'ailleurs l'agglomération en briquettes ou boulets n'est pas indispensable; le semi-coke de carbonisation

est généralement assez pulvérulent pour être passé tel quel dans les foyers disposés pour le chauffage au charbon pulvérisé et qui tendent à se répandre dans l'industrie, grâce aux excellents rendements qui ont été constatés partout où ils ont été essayés.

On pourrait d'ailleurs, pour cette utilisation, employer aussi bien le lignite séché avant carbonisation que le semi-coke résiduaire, si, de cette manière, on ne se privait des huiles et si l'emmagasinage et le transport du lignite séché, toujours pulvérulent et inflammable, ne constituaient pas de grandes difficultés.

L'emploi du coke est beaucoup plus facile.

Nous ne citons que pour mémoire, des grandes installations à « centrale de pulvérisation » où le combustible, transformé en poudre sèche, est conduit par des tuyauteries à tous les foyers de l'établissement. Aucun essai dans ces installations n'a été tenté, croyons-nous, ni avec le lignite séché, ni avec le semi-coke. Nous ne parlerons donc que des appareils individuels à pulvérisation, qui ont l'énorme avantage d'être indépendants l'un de l'autre.

*Appareils individuels de chauffage au combustible pulvérisé.* — Avant que d'acquérir un de ces appareils, nous conseillons de l'essayer avec le semi-coke de lignite dont on dispose afin d'étudier : ses conditions de réglage et d'entretien, le rendement calorifique et la proportion d'imbrûlés qui dépendent de la régularité de la finesse, enfin l'énergie mécanique nécessaire.

La figure 63 est une vue d'un appareil qui s'est bien comporté avec le coke de lignite.

Le combustible, placé dans une trémie, est distribué par une vis d'Archimède, dont on peut régler la vitesse avec précision à l'aide d'engrenages et d'un groupe de deux cônes opposés, reliés par courroie.

Il tombe dans les alvéoles d'une meule mobile, d'où

il est projeté par la force centrifuge à la vitesse de 50 m : sec contre une meule fixée sur des ressorts et située en regard et à très faible distance, de sorte qu'il est immédiatement pulvérisé contre ces meules en corindon extra-dur.

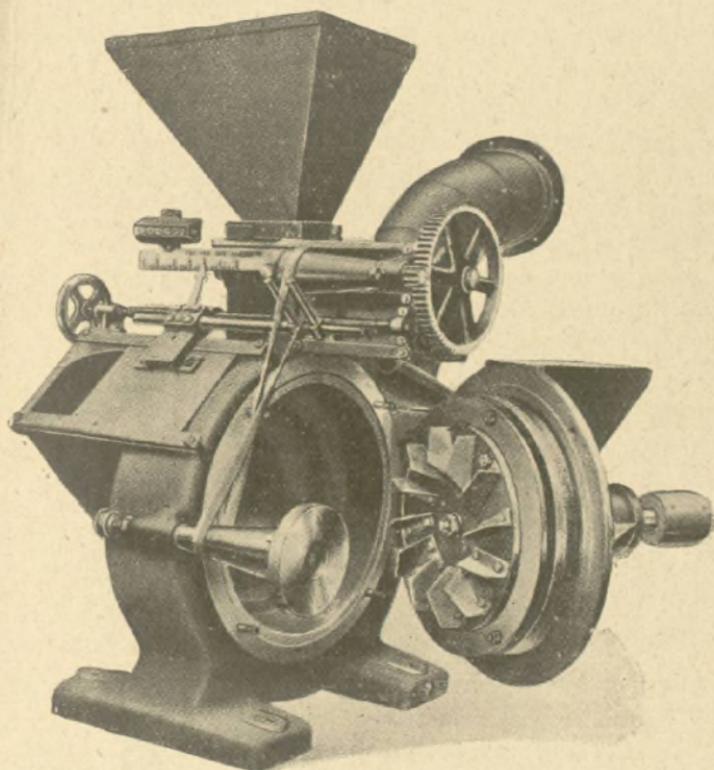


Fig. 63. — Atomiseur « Rex ».

Sur le plateau de la meule mobile, un ventilateur fournit un courant d'air de 15 m : sec qui entraîne le combustible.

La finesse du grain se règle, pendant la marche, en approchant ou écartant la meule fixe; le débit de charbon dépend de la position du guide de la courroie qui passe sur les deux cônes opposés et qui règle la vitesse de la vis distributrice;

le débit d'air varie avec la position du registre d'admission au ventilateur, d'ailleurs lié mécaniquement au guide-courroie, de sorte que les réglages des débits d'air et de combustible sont simultanés; le registre du ventilateur peut d'ailleurs être manœuvré indépendamment.

Les nodules et les fragments métalliques sont arrêtés par un séparateur magnétique.

Le charbon pulvérisé est chassé par la force centrifuge dans la coquille du ventilateur où se trouve réalisé le nuage combustible insufflé au foyer par la base de l'appareil. Un volant permet au chauffeur de régler l'arrivée de ce combustible.

Nous n'insistons pas sur la réalisation mécanique; sur l'arbre principal monté sur roulements à billes et bien lubrifié ainsi que les arbres secondaires, sur l'accessibilité des divers organes.

Cet appareil nous paraît préférable aux pulvérisateurs à marteaux qui permettent cependant d'utiliser le semi-coke ou le lignite séché.

Par conséquent tous les produits et sous-produits des exploitations lignitifères peuvent être facilement utilisés (1).

Les cours des combustibles solides et liquides sont plus ou moins étroitement liés au marché des autres combustibles analogues, particulièrement favorable aux exploitations; d'ailleurs des produits comme les briquettes de lignite et les boulets de semi-coke pourraient, à cause de leurs qualités spéciales, être préférés, à égalité de calories, aux produits analogues fabriqués avec la houille.

Les cours des paraffines, phénols, crésols, matières colorantes ou parfums, sont soumis à d'autres circonstances; la plupart d'entre eux augmenteront vraisemblablement avec le développement de l'industrie chimique en France.

Alors que les usines de traitement des lignites commencent

---

(1) Le semi-coke peut également servir à la fabrication du gaz à l'eau, d'où il n'est pas impossible de tirer par polymérisation des carburants de synthèse.

à peine à s'édifier, il serait prématuré d'établir des bilans d'exploitation, bilans de prévision que l'on pourrait suspecter à juste titre. Nous indiquerons donc seulement des résultats obtenus à l'étranger et financièrement indiscutables, en choisissant ceux qui par leur ancienneté, éliminant toutes les circonstances dues à la crise mondiale des combustibles depuis la guerre, sont capables de faire passer, dans l'esprit de nos lecteurs, la foi que nous avons dans le prestigieux avenir de l'industrie des lignites en France.

### Examen de quelques résultats financiers :

#### 1<sup>o</sup> Société anonyme des mines de lignite à Mensechwitz.

	marks
Capital social.....	289 000
Bénéfice réalisé en 1888.....	75 433 60
Dividende aux actionnaires : 18 pour 100.	
On a extrait, en 1888, 2 063 141 <sup>hl</sup> , représentant une	
somme totale de.....	362 370,53
se composant de 1 762 447 <sup>hl</sup> de lignite brut.....	229 632,98
et 1816 tonnes de briquettes.....	<u>132 737,55</u>

#### 2<sup>o</sup> Société anonyme des mines et usines de A. Riebeck à Halle-sur-Saalé.

	marks
Capital social.....	10 000 000
Bénéfice réalisé en 1889.....	<u>2 087 515,22</u>

Dividende aux actionnaires : 16 pour 100.

Le Société est propriétaire, en dehors de ses quinze mines, d'une fonderie, fabrique de machines et chaudronnerie, travaillant exclusivement pour les propres besoins de ses mines et usines.

Dans l'année 1889, cette Société a consommé :

Extrait de ses mines.....	lignite :	21 930 325 <sup>hl</sup>
Acheté.....	»	336 780
Restant en magasin.....	»	331 690
Consommation totale.....	»	<u>22 598 795</u>

Cette consommation se divise de la manière suivante :

Exploitation des mines.....	1 015 310 <sup>hl</sup>
Extraction de sous-produits.....	8 743 015
Fabrication de briquettes.....	7 053 037
Fabrication d'agglomérés par voie humide.....	1 848 663
Fabrication de briques.....	16 422
Ateliers de réparations.....	44 235
Fabrication d'huiles minérales.....	969 236
Indemnités au personnel.....	6 654
Vente de lignite brut.....	2 578 298
Restant en magasin.....	323 925
Total.....	<u>22 598 795</u>

Les onze fabriques de sous-produits de la Société ont consommé :

Pour la distillation.....	5 256 458 <sup>hl</sup>
Chauffage des cornues, etc.....	3 487 257
Total.....	<u>8 743 715</u>

Pour produire :

Goudron.....	23 659 194 <sup>kg</sup>
Coke..... tonnes.	134 043

Consommation des trois fabriques d'huiles minérales et de paraffine :

Goudron de fabrication.....	23 711 200 <sup>kg</sup>
Goudron acheté.....	779 600
Paraffine en écailles (restant de l'année précédente)...	414 200
Semi-produits (restant de l'année précédente).....	719 200
Paraffine en écailles achetée.....	64 100

Leur production a été de :

Naphte.....	2 211 900 <sup>kg</sup>
Paraffine épurée.....	884 100
Huile rouge.....	1 082 900
Huile grasse brute.....	709 000
Huile de paraffine brute.....	5 765 100
Huile lourde de paraffine.....	2 383 000
Huile de créosote.....	1 479 900

Huile de paraffine pour graissage.....	33 300
Créosote et soude créosotée.....	333 800
Huile de poix.....	690 500
Produits divers.....	152 600
Bases de pyridine.....	4 000
Paraffines de toutes espèces.....	3 669 100
Poix.....	<u>192 900</u>

Production des deux fabriques de bougies.

Bougies de différentes espèces.....	<u>4 086 600</u> <sup>kg</sup>
-------------------------------------	--------------------------------

Il a été vendu dans l'année :

Bougies.....	4 253 900 <sup>kg</sup>
Paraffine molle et solide.....	459 300
Naphte.....	2 161 000
Huile de paraffine épurée.....	1 306 500
Huiles volatiles diverses.....	8 145 100
Huile lourde de paraffine.....	1 394 900
Huile grasse.....	227 800
Huile de créosote.....	1 385 500
Sous-produits.....	1 245 300
Produits divers.....	1 188 800
Total.....	<u>20 768 100</u>

Le prix de vente total a été de 4 636 770,50 marks.

3<sup>o</sup> Société anonyme de Saxe et de Thuringe pour l'exploitation  
de lignites à Halle-sur-Saale.

Capital social.....	3 810 000 <sup>marks</sup>
Bénéfice réalisé en 1889.....	362 341,62

Dividende aux actionnaires : 9 pour 100.

Cette Société possède onze mines de lignite. On a extrait en 1889.....	5 184 050 <sup>hl</sup>
---	-------------------------

Sur la quantité extraite en 1889, il a été utilisé dans  
la même année :

Vente de lignite brut.....	1 419 331 <sup>hl</sup>
Fabrication d'agglomérés.....	390 237
Dans l'exploitation.....	322 081
Pour le personnel.....	11 698
Fabrication de sous-produits.....	<u>3 039 511</u>

Production des trois établissements pour la fabrication d'agglomérés..... mille  
16 287

Consommation des cinq établissements de distillation :

Pour la distillation..... hl  
1 347 051  
Pour le chauffage des cornues, etc.....  
1 069 343

Production de ces cinq établissements :

Goudron..... kg  
7 242 500  
Coke..... tonnes.  
27 350

Consommation des deux fabriques d'huiles minérales :

Goudron..... kg  
8 053 980

Production des usines d'huiles minérales :

Paraffines de toutes espèces..... kg  
770 042,50  
Paraffines en écailles.....  
3 259,50  
Bougies de paraffine.....  
871 678,24  
Naphte.....  
1 492 897,50  
Huile de paraffine jaune.....  
609 845  
Huile de paraffine foncée.....  
2 141 032  
Huile grasse.....  
16 116,50  
Huile de créosote.....  
332 418,50  
Paraffine pour graissage.....  
67 553,50  
Huile de poix.....  
64 587,50  
Asphalte.....  
151 235  
Sous-produits.....  
269 678  
Total.....  
6 790 343,49

Prix moyens de vente en 1889 :

Lignite brut..... marks  
0,18 l'hecto  
Agglomérés.....  
7,50 le mille  
Briquettes.....  
8 la tonne  
Coke (selon les qualités).....  
6 à 8 »  
Paraffines (toutes espèces)..... 61 les 100<sup>kg.</sup>  
Bougies (toutes espèces)..... 75 »  
Paraffine en écailles, blanche et fine..... 47 »  
Naphte..... 15 »

Huile de paraffine jaune.....	12,50 les 100 <sup>kg</sup>
Huile grasse.....	13,40 »
Huile de paraffine foncée.....	10,15 »
Huile de créosote.....	3,15 »
Paraffine pour graissage.....	9 »
Huile de poix.....	7 à 8 »
Asphalte.....	3,70 »
Sous-produits.....	0,80 »

Ces chiffres suffiraient à montrer quelle extension considérable on pourrait donner à l'exploitation des mines de lignite en France sous forme de briquettes, d'agglomérés, de goudron et de dérivés dont la valeur industrielle a été très notablement augmentée depuis l'époque où ces bilans ont été publiés, comme l'on peut s'en rendre compte par l'extrait suivant d'une revue italienne. On sait que la pénurie de houille en Italie oblige ce pays à tirer parti des gisements de lignite qu'il possède.

*Prévisions par la « Cooperazione Mineraria » des bénéfices que l'on peut obtenir du lignite.*

A. Consommation d'environ 1500 <sup>t</sup> de lignite par jour, soit 450 000 <sup>t</sup> par an à £ 50 la tonne.....	£ 22 500 000
B. Produits obtenus :	
1 <sup>o</sup> Environ 48 000 <sup>t</sup> de goudron duquel on extrait :	
a. Environ 5 800 <sup>t</sup> de paraffine (environ 1/4 de la quantité importée en Italie et suffisante par exemple pour faire 35 000 000 de bougies) d'une valeur d'environ.....	34 800 000
b. Environ 7 200 <sup>t</sup> d'huile lourde pour moteur Diesel d'une valeur d'environ.....	14 400 000
c. Environ 19 200 <sup>t</sup> d'huile combustible pouvant servir aux chaudières de la Marine d'une valeur d'environ.....	28 800 000
d. Environ 2 200 <sup>t</sup> d'huile légère d'une va- leur d'environ.....	4 400 000
A reporter.....	82 400 000

	<i>Report</i> .....	82 400 000
e.	Environ 8800 <sup>t</sup> d'huile de graissage d'une valeur d'environ.....	19 360 000
f.	Environ 2200 <sup>t</sup> de coke (un combustible d'un pouvoir calorifique élevé) d'une valeur d'environ.....	1 760 000
2 <sup>o</sup>	Environ 5400 <sup>t</sup> de sulfate d'ammoniaque d'une valeur d'environ.....	15 120 000
	Valeur totale des produits récupérés..	<u>£ 118 640 000</u>
En outre, on peut disposer :		
3 <sup>o</sup>	D'une quantité de gaz qui rend superflu l'importation d'environ 150 000 <sup>t</sup> de charbon fossile anglais qui, au prix du jour, représente une valeur d'environ.....	<u>£ 97 500 000</u>
	Montant total des recettes.....	<u>£ 216 410 000</u>

La « *Cooperazione mineraria* » évalue d'ailleurs de la façon suivante, la teneur en sous-produits, des goudrons des lignites italiens :

	Environ	
	$\frac{1}{100}$	kg
1. Paraffine.....	12	10,800
2. Huile lourde.....	15	13,500
3. Huile combustible.....	40	36
4. Huile légère.....	5	4,500
5. Huile de graissage.....	8	16,200
6. Coke.....	5	4,500
7. Pertes.....	5	8,500
	<u>100</u>	<u>90,000</u>

*Nota.* — 1, 7 : par tonne de lignite; 2, 3, 4, 5 : par 10000<sup>cal</sup> par kilogramme; 6 : 2 pour 100 de cendres, 8200<sup>cal</sup>.

FISCHER et ses collaborateurs, *Gesammelte Abhandlungen zur Kenntniss der Kohl.*

Nous avons eu l'occasion d'évaluer les bénéfices minima à attendre de gisements situés dans les Landes, dont les teneurs en paraffine sont très supérieures à celles qui sont indiquées ci-dessus.

Les projets de carbonisation que nous avons contrôlés

indiquent, pour cette première phase des opérations, c'est-à-dire pour la transformation du lignite brut en : boulets de semi-coke, benzols et goudrons, un dividende annuel d'au moins 20 pour 100, compte tenu de tous amortissements. Il est bien évident que la distillation du goudron et la fabrication des sous-produits sera une entreprise beaucoup plus avantageuse. On doit faire observer cependant que, seules les installations à grand débit journalier, qui permettent d'utiliser des dispositifs mécaniques perfectionnés pourront conduire à des bilans aussi satisfaisants.

#### **Organisation commerciale pour la vente des sous-produits.**

— La vente des briquettes, du coke briqueté ou du combustible pulvérisé est évidemment facile en raison du manque de combustibles en France.

La vente des sous-produits liquides, essences, benzols et huiles diverses, ainsi que de la paraffine, sera également très rémunératrice, mais elle exigera une organisation plus complète. Les acheteurs, alimertés jusqu'à présent par les sociétés pétrolifères et, dans une certaine mesure, par les usines à gaz, les cokeries et surtout les distillateurs de goudrons, sont habitués à recevoir, sous une forme déterminée, les produits dont ils ont besoin. Les sous-produits des lignites, assez différents des sous-produits de la houille, se rapprochent davantage de ceux du pétrole, mais il ne serait pas avantageux, en général, de chercher, par des procédés appropriés, à livrer des produits identiques. Les sous-produits des lignites ont des qualités spéciales qui peuvent d'ailleurs être précieuses dans certaines applications. C'est ainsi que les huiles moyennes combustibles exemptes de naphthalines restent beaucoup plus fluides l'hiver que les huiles de houillé.

Cependant, les industries susceptibles d'utiliser ces produits sont celles qui achètent déjà des huiles de houille et de pétrole, le marché existe donc d'ores et déjà, mais il est

aux mains des distillateurs de pétrole et de houille. Ces entreprises et les nouvelles sociétés lignitifères, n'ont aucun intérêt à entrer en lutte; le marché de tous ces produits tendant à s'accroître d'une manière continue et assez rapide. Il est bien préférable et plus économique à tous points de vue que les mêmes organismes soient chargés de la vente de tous les produits, centralisent les demandes et les désirs des acheteurs pour augmenter les ventes en général et diminuer les frais de publicité et de commissions, extrêmement élevés.

En Allemagne, cette nécessité a été comprise par Stinnes qui organise un *trust des huiles minérales* coordonnant les efforts d'entreprises qui ont plus intérêt à se compléter qu'à entrer en lutte.

C'est à titre d'exemple que d'après la *Revue des produits chimiques* du 30 juin 1923, nous donnons le projet de Cartel.

Il s'agirait de constituer en un trust les entreprises suivantes : 1<sup>o</sup> la A. G. für Petroleum Industrie (Api), société indépendante appuyée par les banques Darmstädter et Nationalbank; 2<sup>o</sup> les Riebeckische Montanwerke A; 3<sup>o</sup> les Olea Mineralwerke A. G.; ces deux dernières sociétés se trouvent depuis quelque temps sous l'influence de Stinnes; 4<sup>o</sup> la A. G. Hugo Stinnes für Seeschiffart und Uebersee-handel (Société de navigation et de commerce maritime exclusivement entre les mains de Stinnes).

L'A. G. für Petroleum Industrie possède des distilleries, des raffineries, des réservoirs à Hambourg, Emmerich, Cosel, Regensburg; elle dispose d'une organisation de vente fortement développée et possède des contrats de fourniture d'huile de pétrole brute à l'étranger, ainsi que les brevets des procédés Bergius.)

La Société Riebeckische Montanwerke est propriétaire des plus importants gisements de lignite bitumineux de

l'Allemagne; elle produit annuellement 40 000 tonnes de paraffine et d'huile de lignite.

La Société Olea comprend quatre sociétés filiales commerciales à Hambourg, Dortmund, Stuttgart, Stettin; elle est en relation étroite avec le Suddentsche Melanolwerke disposant de quatre raffineries; elle possède les brevets Melamid.

La Société maritime et commerciale de Stinnes a construit des bateaux-citernes; elle a loué les réservoirs de la Marine d'État; elle en a acheté à Stettin, Königsberg, Dantzig. Avec le concours de la Deutsche Bank, Stinnes a entrepris des forages en Argentine donnant déjà un certain rendement en pétrole.

On voit très bien comment s'enchaînent les intérêts. L'ensemble des entreprises ci-dessus doit être constituée en un seul organisme se suffisant à lui-même pour produire la matière première, la transporter, la mettre en valeur et la vendre.

D'après le *Wirtschaftsdienst* (1), Stinnes, maître du marché du charbon allemand, a dû s'intéresser à la carbonisation et aux nouveaux procédés de conversion du charbon en combustibles liquides. A cause de la ressemblance des produits de la distillation des lignites, il a cru devoir prendre une forte position dans l'industrie des huiles dérivées du lignite. La carbonisation des houilles et des lignites n'étant pas encore suffisante pour rendre l'Allemagne indépendante des produits dérivés du pétrole, Stinnes s'est lancé dans l'achat et le transport du pétrole brut et même dans l'extraction de celui-ci. Il cherche à utiliser les ressources disponibles en moyens de raffinage, de magasinage, de vente afin de créer un tout homogène. Ce plan de réunion des diverses sources d'huiles carburantes, lubrifiantes et de chauffage

---

(1) Tome VIII, p. 561-63 (n° 23 du 8 juin 1923).

permettrait au trust nouveau d'écouler régulièrement et avantageusement ses produits.

Il existe d'ailleurs, en Allemagne, à côté des Sociétés contrôlées par Stinnes, deux Sociétés qui ont déjà poursuivi le même but :

1<sup>o</sup> La Deutsche Petroleum A. G., après la liquidation des biens allemands en Roumanie et en Galicie, entra dans l'Union du Pétrole Européen, émanation de l'Anglo-Persian Oil Trust, qui fusionna avec la Deutsche Bank et qui fonda une Société filiale, la Deutsche Bergbau A. G., entrant ainsi en liaison avec la distillation des lignites; 2<sup>o</sup> la Deutsche Erdöl A. G., d'importance beaucoup moindre, s'est intéressée à l'exploitation des Rositzer Braunkohlenwerke, Société pour la distillation des lignites.

Ainsi, les exploitations lignitifères allemandes, les plus riches du monde, ne dédaignent les alliances, ni avec les sociétés de carbonisation des houilles, ni même avec les sociétés pétrolifères qui y trouvent également l'assurance de l'écoulement régulier de leurs huiles.

Cela illustre l'importance qu'attachent, aux huiles de lignite, les houillères et les grandes sociétés pétrolifères. N'est-ce pas la meilleure preuve que l'on puisse donner de l'intérêt des lignites et particulièrement de leur carbonisation ?

Il appartient à un pays aussi pauvre que le nôtre en charbons et en carburants de mettre en valeur aussi ses lignites; nos sociétés houillères seraient bien inspirées en prenant à temps, des intérêts dans les concessions lignitifères.

Mais la situation de notre pays n'est pas comparable à celle de l'Allemagne. Avant d'entreprendre, sur une grande échelle, l'exploitation de nos mines de lignite, nous devons procéder à leur étude méthodique; il faut d'abord poursuivre un plan régulier de prospection afin de commencer

l'exploitation par les gisements qui présentent le plus grand intérêt par leur abondance, les facilités d'exploitation et les qualités des sous-produits.

En attendant le trust des lignites, il faut féliciter les sociétés particulières qui, avec une inlassable activité, s'efforcent de créer l'industrie nouvelle de la carbonisation des lignites.



---

## CHAPITRE XVII.

### NOTES.

---

*Gazogène Poetter-Cousin.* — M Cousin, qui a présenté à ce sujet une intéressante communication au Congrès, de 1923 du chauffage industriel, a réalisé un gazogène qui supprime tout accessoire d'insufflation de vapeur et, par conséquent, les chaudières généralement indispensables à cette opération.

Avant d'indiquer comment ce dispositif peut être appliqué aux lignites, nous allons expliquer, d'une manière sommaire, le principe de son fonctionnement général.

La houille à gazéifier (*fig. 64*) repose sur un lit de mâchefers qui se renouvellent entre les décrassages successifs. L'enveloppe métallique de la cuve du gazogène est fermée, en bas, à l'aide d'un joint hydraulique simplement constitué par le cendrier rempli d'eau formant une sorte de bassin. Ainsi le souffleur d'air, qui débouche au centre, a ses événements noyés dans l'eau en un endroit où celle-ci, proche de la zone de combustion, est en ébullition. L'air injecté entraîne donc une certaine masse de vapeur qui dépend du niveau de l'eau dans le cendrier.

De cette manière on économise le combustible qui, sans cela, serait employé à la production séparée de la vapeur qu'il faut ajouter à l'air insufflé. Le mélange d'eau et de vapeur qui s'échappe avec l'air des événements, se vaporise dans la zone où se forment les mâchefers, lesquels, rendus poreux et friables, sont faciles à décrasser. L'hydrogène formé enrichit le gaz.

Ainsi, non seulement on facilite le décrassage (une, deux ou trois fois en 24 heures, suivant la teneur en cendres) mais on enrichit le gaz, en même temps qu'on économise du combustible.

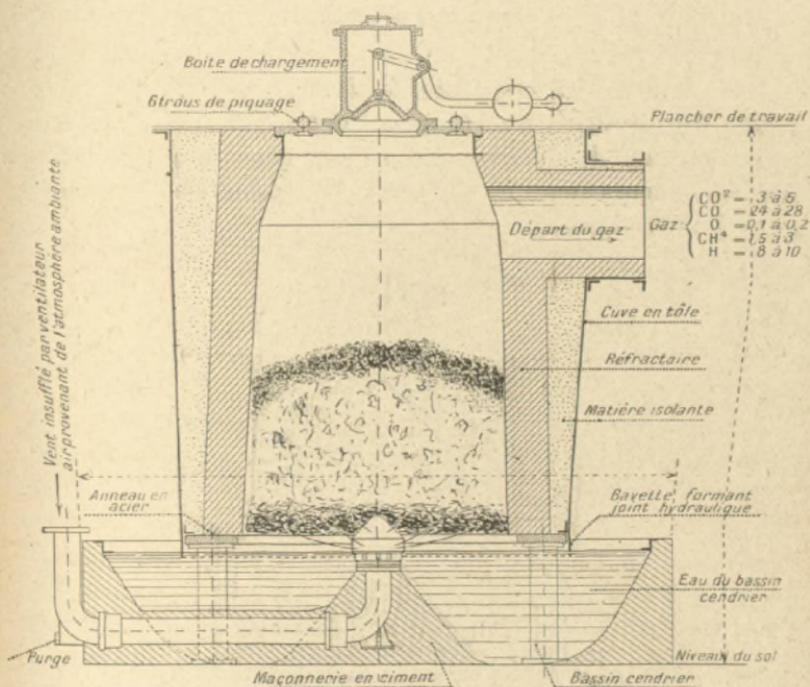


Fig. 64. — Gazogène Cousin.

D'après la revue « Le Verre » (1), de Charleroi, les glacières de Sas de Gand (Compagnie de Saint-Gobain) ont réalisé une économie de 12 à 15 pour 100 par la mise en service de ces nouveaux gazogènes. MM. Appert, maîtres de verrerie, auraient même économisé 20 pour 100 de combustible en remplaçant leurs gazogènes Siemens par un gazogène Cousin.

Quand on veut gazéifier du lignite, l'installation qui vient

(1) *Le Verre*, numéro d'août 1923.

d'être décrite ne peut suffire parce que le lignite donne des cendres pulvérulentes sans mâchefer. Aussi M Cousin a-t-il modifié, pour appliquer les lignites à son dispositif, le gazogène Poetter qui a fait ses preuves en Allemagne et qui permet, d'ailleurs, la récupération des sous-produits.

*Gazéification des briquettes de lignite rhénan.* — L'adaptation du dispositif Cousin au gazogène Poetter a été faite à Aix-la-Chapelle aux glacières d'Herzogenrath qui chauffent désormais leurs fours à l'aide du gaz produit dans un gazogène Poetter-Cousin.

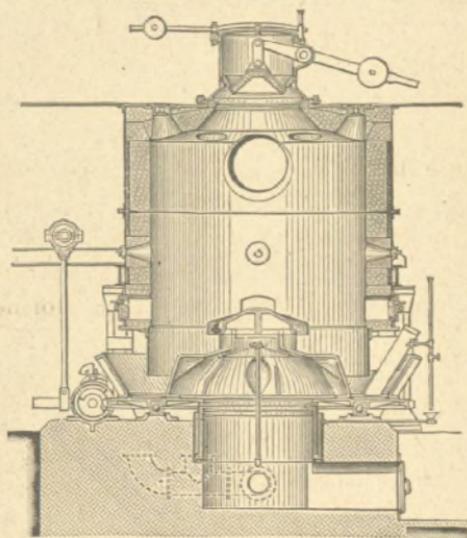


Fig. 65.

La figure 65 est une coupe de l'ancien gazogène Poetter et la figure 66 indique clairement la modification que l'on a fait subir au cendrier pour l'adaptation du dispositif Cousin.

Mais, ce que ne représente pas la figure 65, c'est le dispositif de carbonisation qui ne diffère pas d'ailleurs, en principe de ce que nous avons déjà vu.

Dans la région supérieure du gazogène, au-dessous de la trémie de charbon, se trouve, dans une chemise cylindrique en tôle, un système de plusieurs anneaux superposés à diamètres décroissants vers le bas et qui sont coiffés d'un chapeau conique. Des fentes circulaires horizontales per-

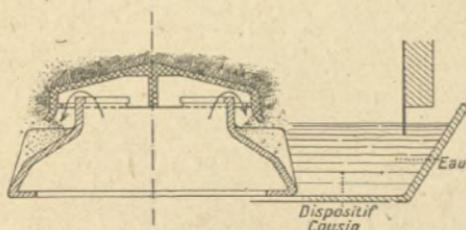


Fig. 66.

mettent aux vapeurs goudronneuses qui se dégagent de gagner l'espace laissé libre par les anneaux d'où elles se rendent avec les gaz dans une capacité annulaire entourant la trémie à combustible, puis dans les appareils de récupération.

Le dispositif que nous venons d'examiner forme une sorte de cornue dans le gazogène, Cette cornue chauffée, de l'extérieur, par son enveloppe de tôle; à l'intérieur, par les gaz aspirés à travers le combustible même; permet le séchage et la carbonisation à basse température du lignite, sans qu'il y ait à redouter sérieusement une exagération de température qui provoquerait la destruction des goudrons primaires.

Il est possible, en effet, en modifiant le débit des gaz aspirés à travers le lignite, de régler, dans une certaine mesure, la température — et par conséquent — la qualité des goudrons.

Par épuisement progressif des matières volatiles, il se forme ainsi un semi-coke de lignite qui descend peu à peu et arrive dans la zone de gazéification où, sous l'influence

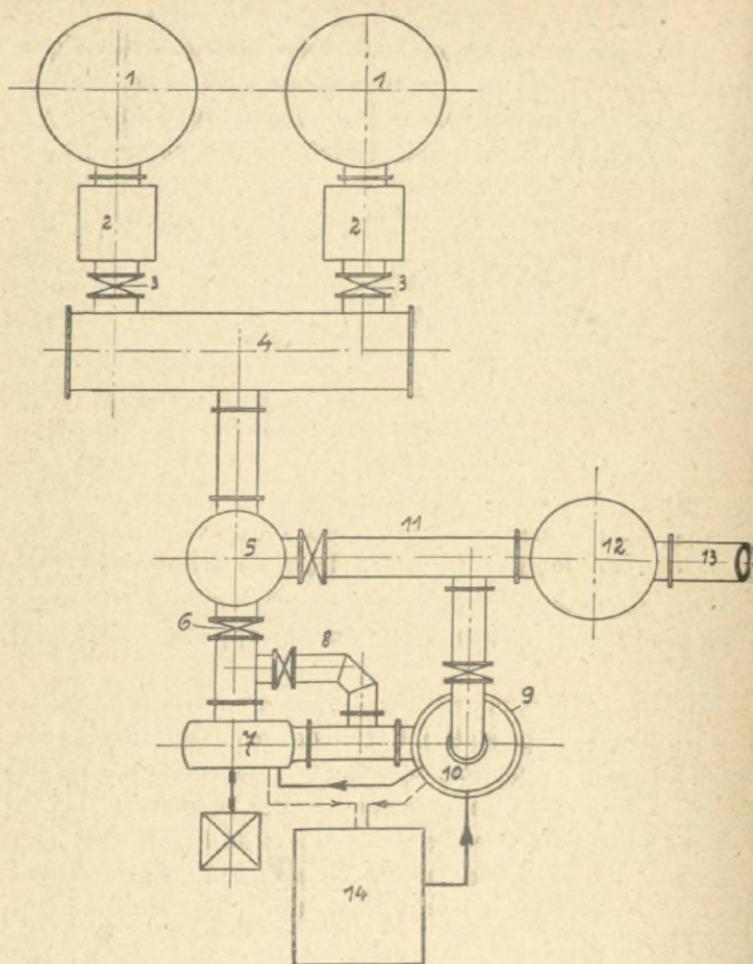


Fig. 67.

- 1, gazogène; 2, séparateur de poussière; 3, valve à fermeture rapide; 4, carneau collecteur à gaz; 5, réfrigérant préliminaire; 6, registre à gaz; 7, laveur centrifuge; 8, conduite de détour au laveur centrifuge; 9, séparateur à secousses; 10, pot à goudron placé sur le séparateur à secousses; 11, conduite de raccord entre le réfrigérant préliminaire et le réfrigérant finisseur; 12, réfrigérant finisseur; 13, conduite à gaz pur, à longue distance; 14, fosse collectrice à goudron.

de l'air soufflé, se dégage, non plus des gaz et des vapeurs de distillation, mais du gaz de gazogène (mélange d'oxyde de carbone, d'hydrogène et d'anhydride carbonique).

Ce gaz sert tout d'abord, comme nous l'avons dit, au chauffage de la cornue de carbonisation : la plus grande partie chemine, en effet, autour de cette cornue; le reste y pénétrant, réchauffe le lignite et entraîne les produits de carbonisation. Ce mouvement d'entraînement est provoqué par un extracteur (exhausteur ou désintégrateur).

Sur le trajet des gaz, on intercale un séparateur de poussières, un réfrigérant tubulaire à circulation d'eau, un laveur à cloches à boîtes superposées et, si cela est nécessaire par suite de l'humidité du goudron, un laveur à gaz vertical. Le schéma (*fig. 67*) est un exemple du groupement des appareils.

Ainsi, dans le gazogène, les gaz circulent en sens inverse

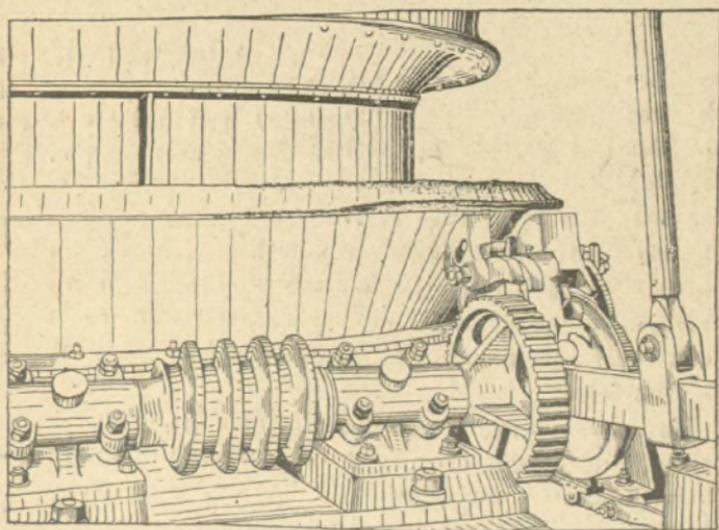


Fig. 68.

du lignite qui descend : à la partie inférieure il ne reste, dans

la cuve, que des cendres qui sont éjectées continuellement par suite des mouvements de rotation et d'oscillation dit « pas de pèlerin » communiqué à cette cuve (fig. 68).

Ce procédé continu pourrait être adopté, non seulement pour des briquettes de lignite, mais encore pour le lignite brut, humide ou non, à condition de traiter des morceaux, à l'exclusion des poussières.

*Désintégrateur Theisen.* — Dans les usines importantes en Allemagne, on utilise des appareils dits *désintégrateurs* qui cumulent les fonctions de dépoussiéreurs, de séparateurs de goudron et d'extracteurs de gaz. L'appareil le plus usuel est représenté figure 69.

Deux canaux A amènent le gaz au centre où il est humecté par l'eau introduite en B et projetée par la force centrifuge à l'extérieur des cônes de répartition D, perforés et munis d'ailettes

Les aubes L d'un ventilateur aspirent le gaz et l'obligent à passer dans une série de tambours concentriques en cage d'écureuil alternativement fixes et mobiles qui provoquent des chocs et un brassage violent. Le premier tambour  $E_1$  mobile lance le mélange de gaz et de liquide contre le premier tambour fixe  $F_1$  et ainsi de suite, le nombre des tambours employés varie suivant les besoins. Les barreaux des tambours fixes sont venus de fonderie avec un plateau fixé à l'enveloppe de l'appareil; les barreaux des tambours mobiles sont coulés de même avec un plateau fixé sur le plateau du ventilateur.

Entre ces plateaux s'effectue le brassage, c'est-à-dire le mélange du liquide et du gaz, de sorte que même les plus fines impuretés, imprégnées de liquide, vont pouvoir se séparer sous l'influence de la force centrifuge.

Celle-ci s'exerce par les aubes G qui projettent le liquide plus dense contre les parois inclinées H qui canalisent le

liquide (mélange d'eau, de poussières et de goudrons) vers la rigole circulaire Z aboutissant à la purge K. Ainsi s'effectue une première séparation.

Le gaz, débarrassé de la plus grande partie de ses impuretés,

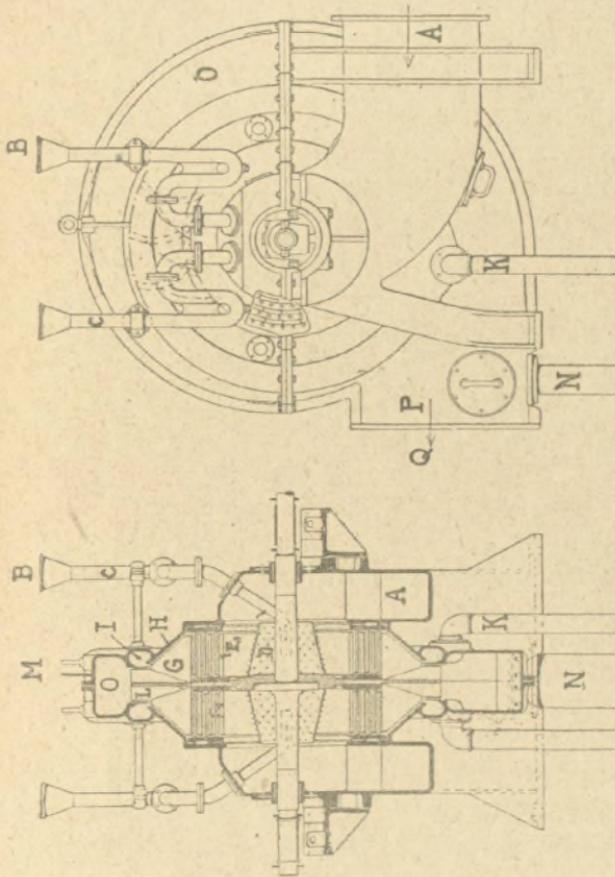


Fig. 69. — Désintégrateur Theisen.

va pouvoir être, sans perte de charge excessive, pris par les aubes L du ventilateur qui vont provoquer, comme on le veut, l'aspiration puis le refoulement du gaz sous pression.

Il reste cependant, à ce moment, 50 pour 100 environ du liquide injecté, mais les aubes du ventilateur, projetant le mélange contre les parois de la bêche spirale O, provoquent une seconde séparation; le liquide s'écoule en N tandis que le gaz, conduit par le canal en forme de spirale à l'extrémité P, entre enfin dans le séparateur statique R à chicanes. On peut admettre qu'à la sortie de ce séparateur, le gaz ne contient plus de vapeurs, sauf celles qui correspondent à sa saturation à la température de sortie.

Le liquide laveur est choisi d'après l'état du gaz à son arrivée dans le désintégreur et l'opération peut être réglée suivant l'usage auquel le gaz est destiné, usage qui demande une épuration plus ou moins complète.

Par exemple une batterie de 36 gazogènes à grille rotative Poetter-Cousin capable de traiter 600 tonnes de lignite par 24 heures pourrait fonctionner avec quatre groupes d'épuration marchant en parallèle, chacun d'eux constitué par un réfrigérant à tubes, un désintégreur et un séparateur à secousses.

APPAREIL DU « FUEL RESEARCH BOARD » POUR L'ESSAI DE CARBONISATION A BASSE TEMPÉRATURE AU LABORATOIRE (1). — L'Office de Chauffage, qui a monté un four électrique pour distillation semi-industrielle, se propose d'installer un appareil analogue à celui que nous allons décrire et qui est en grande faveur en Angleterre pour l'essai de carbonisation des houilles à basse température au laboratoire.

Il est bien évident que le même appareil peut servir à l'étude des lignites.

Nous rappelons que l'analyse immédiate ou l'analyse élémentaire d'un charbon ne permettent pas d'évaluer, ni la quantité, ni la qualité des produits gazeux et liquides de la

---

(1) Voir *Chronique de l'Office central de Chauffage rationnelle (Chaleur et Industrie*, février 1924).

carbonisation, ni les valeurs relatives des dégagements aux diverses températures, ni même l'influence des températures et des durées de carbonisation sur la qualité du coke.

Au contraire, la carbonisation à échelle réduite au laboratoire permet de prévoir jusqu'à un certain point : les rendements de la carbonisation à l'échelle industrielle à la même température; la qualité du coke, la température à laquelle commence la décomposition rapide du combustible, la densité de l'huile, enfin la composition du gaz.

D'ores et déjà, les constatations suivantes, relatives au charbon, pourraient être adoptées (sous bénéfice d'inventaire) pour les lignites. Voici d'abord l'évaluation des productions :

*Coke.* — Le rendement en coke et la proportion de matières volatiles restantes sont sensiblement les mêmes au laboratoire ou dans une cornue industrielle.

*Gaz.* — Dans l'industrie, il sera nécessaire de limiter le temps de la carbonisation, aussi trouvera-t-on moins de gaz qu'au laboratoire.

*Goudron.* — Pour la même raison, on ne retrouvera dans la carbonisation à grande échelle que les deux tiers environ de la quantité produite au laboratoire.

*Ammoniaque.* — Au contraire, pour l'ammoniaque, les productions restent à peu près égales.

En ce qui concerne les qualités des produits, on peut faire des prévisions en utilisant les observations suivantes :

*Qualité du coke.* — Si l'on emploie du charbon en poudre et si la température reste la même, dans l'essai au laboratoire ou dans la carbonisation industrielle, les cokes formés dans ces deux opérations sont analogues.

*Température optimum.* — La température à laquelle com-

mence la décomposition rapide du combustible peut être déterminée, soit par l'apparition de vapeurs d'huile, soit par le commencement du dégagement rapide des gaz.

*Densité de l'huile.* — La mesure de la densité de l'huile au laboratoire donne, avec une approximation suffisante, la densité de l'huile que l'on peut obtenir industriellement à la même température.

*Qualité du gaz.* — Les compositions du gaz obtenu au laboratoire ou dans l'industrie se ressemblent; la principale différence est que l'on trouve moins d'hydrocarbures non saturés au laboratoire.

*Appareil anglais.* — La figure 70 est le schéma de l'appareil qui peut être adopté.

Un four qui peut être chauffé au gaz — mais qu'il vaut mieux chauffer électriquement à l'aide d'une résistance de nichrome procurant une chauffe uniforme sur une longueur de 15<sup>cm</sup> au moins — entoure un tube horizontal, de verre résistant ou de silice, de 30<sup>cm</sup> de long et de 2<sup>cm</sup> de diamètre. A 2<sup>cm</sup> de l'extrémité ouverte de ce tube, extrémité fermée d'ailleurs par un bouchon, est soudé à angle droit un tube mince d'environ 1<sup>cm</sup> de diamètre.

Ce tube aboutit à un tube en U qui sert de condenseur et dont l'appendice a 5<sup>cm</sup> de volume au moins pour recevoir les produits liquides si le combustible essayé est sec, et davantage s'il est humide.

Ce tube en U, de 15<sup>cm</sup> de hauteur environ, communique par un robinet *r* avec un tube vertical de 2 à 3<sup>cm</sup> de diamètre et de 15<sup>cm</sup> de longueur, rempli de billes de verre trempées d'acide sulfurique afin d'absorber l'ammoniaque.

On trouve ensuite un gazomètre rempli d'un mélange en parties égales de glycérine et d'eau avec une solution aqueuse de chlorure de magnésium (ou encore d'eau saturée par le gaz de l'essai précédent). Un tuyau en caoutchouc le relie à un

petit réservoir suspendu et contre-balancé à l'aide de deux

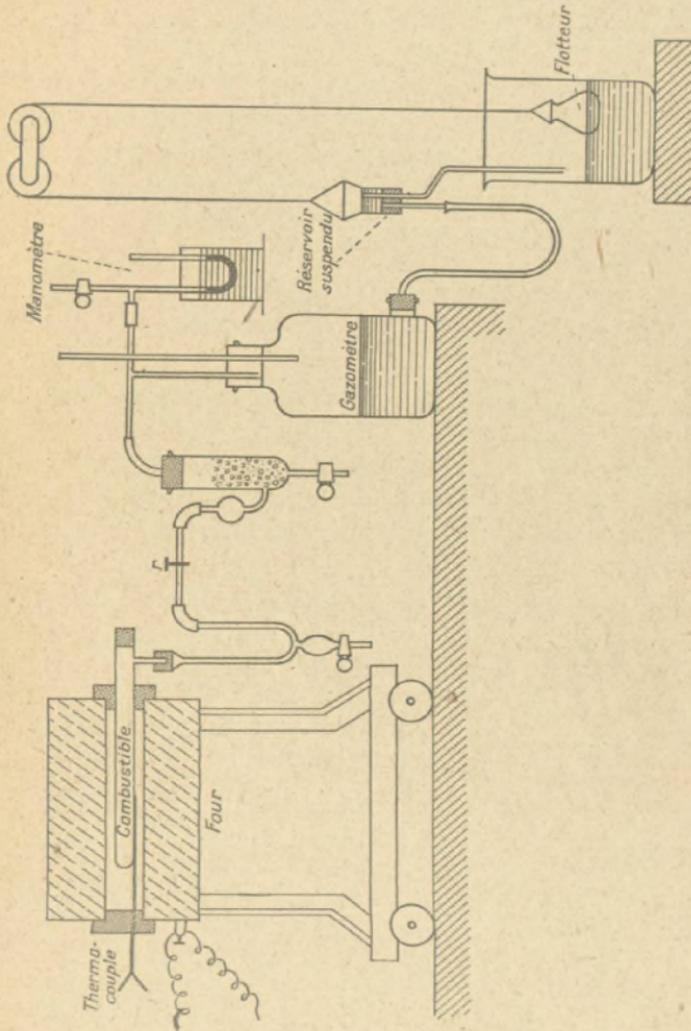


Fig. 70.

poulies, par un flacon contenant de l'eau ou tout autre lest réglable et flottant dans un vase.

L'eau du gazomètre, refoulée par le gaz dans le petit réservoir, retombe dans le vase à flotteur. Si ce dernier a le même diamètre que le gazomètre (et si le tube de communication a un diamètre suffisant), les dénivellations dans les deux vases sont égales et de sens contraires; le flotteur s'élevant abaisse donc le réservoir suspendu d'une valeur égale, de sorte que la dénivellation initiale choisie entre le gazomètre et le réservoir suspendu, dénivellation qui règle la pression dans le gazomètre, reste constante au cours de l'essai.

*Essai.* — Le combustible broyé pour passer au tamis de 60 mailles est séché à 105-110°. Le gazomètre étant rempli de liquide jusqu'au bouchon, le petit réservoir suspendu est réglé de sorte que le haut du tube de trop-plein soit à 1<sup>cm</sup> environ au-dessous du bouchon. On pèse séparément le tube en U et le tube horizontal avec 20<sup>g</sup> de combustible sec répandu sur de l'amiante et formant une couche occupant les deux tiers du diamètre. On monte le tout et l'on chauffe.

Dès que cesse l'échappement de l'air dilaté et du gaz occlus dans le combustible, on élève graduellement la température jusqu'à 550-600°. Pendant cette période, qui doit durer une heure environ, on note la température et le moment où l'eau et l'huile apparaissent.

On continue à chauffer pendant une heure encore, après quoi le dégagement de gaz devient négligeable.

Le four étant enlevé, le tube se refroidit, la pression du gaz indiquée par le manomètre est ramenée à zéro, le robinet *r* est fermé.

On détermine : le rendement en coke en pesant le tube à combustible, le poids de l'eau et de l'huile en pesant le tube en U (le volume de la partie aqueuse est mesuré en lavant le liquide dans un cylindre gradué contenant de l'éther de pétrole ou du chloroforme). Le contenu du tube à billes, lavé dans un flacon, mélangé au liquide recueilli dans le tube en U, est distillé afin de doser l'ammoniaque.

Pour mesurer le volume du gaz, on enlève de l'eau, au moyen d'une pipette, dans le réservoir à flotteur pour l'introduire dans le réservoir suspendu jusqu'à ce que le liquide dans le manomètre soit en équilibre, toute l'eau inemployée étant remise dans le vase à flotteur. Le poids et la densité de la solution recueillie dans ce vase permettent de calculer le volume du gaz à la température et à la pression atmosphérique du moment.

Au premier essai, le gaz est mélangé d'un peu d'air; le gaz du premier essai peut servir à purger l'air du tube à combustible en chassant le contenu du gazomètre par le bout ouvert de ce tube. Au second essai, le gaz recueilli ne contient plus qu'une quantité d'air négligeable. Si l'on se contente d'un seul essai, on peut néanmoins déterminer la densité et analyser le gaz, mais il faut corriger les résultats en comptant de 5 à 8 pour 100 la quantité d'air contenue dans le mélange.

On peut donc dresser un bilan en poids des produits obtenus.

Les expériences qui ont été poursuivies en Angleterre sur différents charbons ont permis de déterminer les rapports moyens entre les productions de cornues industrielles horizontales et celles de l'appareil qui vient d'être décrit. Ces rapports sont : 1, 02 (coke), 0, 60 (goudron), 1, 18 (liquide), 1 (sulfate d'ammoniaque, si l'épuration est convenable), enfin, 0, 96 (gaz). Ces chiffres permettent d'obtenir une première estimation des résultats probables d'une distillation industrielle dès lors qu'on a déterminé les rendements au laboratoire.

FIN.

---

## TABLE DES MATIÈRES.

---

	Pages.
PRÉFACE.....	v
CHAPITRE I. — Coup d'œil général sur l'industrie des lignites.....	1
CHAPITRE II. — Caractère des lignites et classification.....	28
CHAPITRE III. — Géognosie des lignites.....	34
CHAPITRE IV. — Les gisements français reconnus en 1924.....	48
CHAPITRE V. — Les gisements allemands et le bassin de Cologne.....	59
CHAPITRE VI. — Exploitation à ciel ouvert.....	72
CHAPITRE VII. — Séchage du lignite.....	86
CHAPITRE VIII. — Préparation du lignite desséché. — Briquetage.....	108
CHAPITRE IX. — Traitements anciens. Produits de la carbonisation des tourbes.....	128
CHAPITRE X. — Les travaux de la Commission de carbonisation.....	148
CHAPITRE XI. — La gazéification des lignites.....	164
CHAPITRE XII. — La carbonisation à basse température.....	186
CHAPITRE XIII. — Récupération des sous-produits de carbonisation.....	205
CHAPITRE XIV. — Les lignites et la fabrication des carburants. Hydrogénation.....	233
CHAPITRE XV. — Étude des lignites en laboratoire.....	271
CHAPITRE XVI. — Vente des sous-produits.....	298
CHAPITRE XVII. — Notes.....	314

# INSTRUMENTS et FOURNITURES pour INGÉNIEURS

USINES : rue Saint-Amand  
Annexe : 51, rue des Petits-Champs

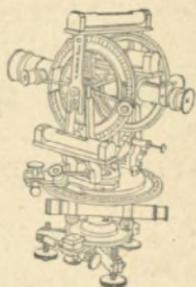
.....  
Adresse télégraphique :  
LERIMOR-PARIS  
.....

# H. Morin

11, Rue Dulong, 11  
PARIS (XVII<sup>e</sup>)

## Envoi franco du catalogue général :

- 1<sup>er</sup> fascicule : Instruments de nivellement, Topographie, Mines, Dessin, Calculs, Appareils industriels.  
2<sup>e</sup> fascicule : Fournitures de dessin et de bureau, Imprimerie, Papeterie.  
3<sup>e</sup> fascicule : Librairie technique.



Tachéomètre H. Morin

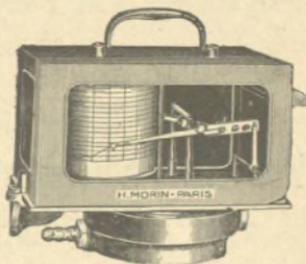
## Notices envoyées franco :

Reproduction des plans — La Tachéométrie  
Appareils industriels



Compas

Déprimomètre  
enregistreur  
pour le  
contrôle des feux



Déprimomètre enregistreur

Les appareils de précision H. MORIN sont utilisés par milliers  
dans les mines françaises et étrangères.

MAISON FONDÉE EN 1892  
Registre du Commerce : Seine 221.730

# H. BREUILLÉ

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES 1890

PARIS — 130, Rue Lafayette, 130 — PARIS

Adr. télégr.: HOVIDEL-PARIS Téléphone : NORD 47.77

28, Via Macchiavelli  
MILAN

3 Moreria  
SARAGOSSE

19, Rua das Flores  
LISBONNE

Entreprises Générales de Constructions d'Usines  
CHARPENTE EN FER — BETON ARMÉ

SÉCHOIRS — FOURS — GAZOGÈNES  
POUR LA DISTILLATION DES LIGNITES  
ET DES BOIS

APPAREILS DE RÉCUPÉRATION, DE DISTILLATION  
ET DE RECTIFICATION

APPAREILS DE MANUTENTION MÉCANIQUE

GÉNÉRATEURS A VAPEUR

Grille mécanique ou non, foyers à combustibles pulvérulents

FOURS POUR :

*Produits chimiques* -- *Produits barytiques*

FOURS TOURNANTS et FOURS TUNNELS  
pour toutes industries

RÉSULTATS GARANTIS

Études, Plans, Devis, Entreprises à forfait. Envois d'ingénieurs sur demande

# CARBONISATION des LIGNITES

par le procédé "TOZER"

Conversion des lignites en COMBUSTIBLE  
DE CHOIX, les SOUS-PRODUITS extraits  
pendant la conversion PAYENT LES FRAIS.

*Les cornues "TOZER" ont fait leurs preuves  
elles sont appliquées industriellement au Japon.*

## SUD-AFRICAÏN

Une grande usine en pleine activité  
a été installée par les sociétés sui-  
vantes : The Johannesburg Con-  
solidated Investment Company,  
The General Electric Company  
(Londres), et W. Beardmore and C<sup>o</sup>  
Ltd (Glasgow).

## FRANCE

La Société des Mines de Laluque  
traite par jour 120 T. de lignite sec.  
Actuellement beaucoup de Compa-  
gnies françaises et étrangères, étu-  
dient l'aménagement d'usines simi-  
laires.

Pour tous renseignements et envoi  
d'une notice avec devis et bilan,

**E. HENEAGE,**

27, Elvaston Place, Queen's Gate,  
LONDON S.W.7. ENGLAND.

ou

**Ed. MARCOTTE,**

40, rue de la Paix, SAINT-CLOUD (S.-et-O.  
FRANCE

# Société de Carbonisation

Procédés "SALERNI"

Société Anonyme au Capital de 1.000.000 de francs

**Siège social et bureaux : 19, rue Auber, PARIS (9<sup>e</sup>)**

Téléphone : LOUVRE 00.46

R. G. Seine : 488.900



*Station d'essais :*  
**à AUBERVILLIERS (Seine)**  
**199, Boulevard Félix-Faure**  
Téléphone : AUBER 235



**Carbonisation à basse température**  
de matières solides et plastiques

**Goudron primaire** équivalent en quantité et en qualité à celui des meilleurs appareils de laboratoire.

**Frais** de premier établissement et traitement **réduits**

**Poids** approximatif de métal employé : 200 kilos seulement par tonne de matière traitée.

**Livraison** d'installation : **quatre mois** après commande.

Durée d'érection d'un four : **un mois** seulement.

Facilités de **démontage** et de **transport** des fours.

**Amovibilité** parfaite des organes du four.

NOTA. — La Société se charge de l'installation complète des fours de carbonisation à basse température, y compris les usines de récupération des sous-produits.

# LE CHAUFFAGE INDUSTRIEL

*Société Anonyme d'exploitation des Brevets "COUSIN"*

R. C. Lille  
N° 11.223

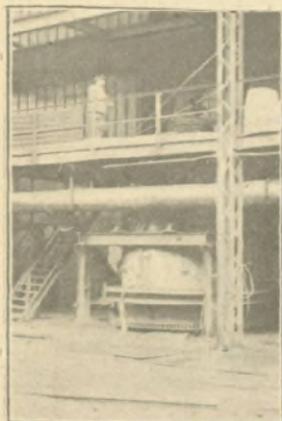
CAPITAL 500 000 FRANCS  
25, Rue Masséna, LILLE

Téléph.  
23.67

NOUVEAU  
procédé  
de  
GAZÉIFICATION  
**Cousin**

Breveté S.G.D.G.

\*\*\*\*\*



GAZOGÈNE  
à  
décrassage  
automatique  
**Poëtter**

Breveté S.G.D.G.

\*\*\*\*\*

**GAZÉIFICATION** complète des lignites sans  
aucun apport extérieur de  
vapeur avec le dispositif "**Cousin**"

\*\*\*\*\*

**RÉCUPÉRATION** des goudrons et autres sous-produits

\*\*\*\*\*

**BRULEUR** à gaz "**PELLIX**" pour le chauffage des Chaudières  
et des Fours

\*\*\*\*\*

**APPLICATION** en Métallurgie, Céramique, Verrerie  
Produits chimiques, etc.

---

*RÉFÉRENCES et DEVIS sur demande*

# MOTEURS DIESEL AUGUSTIN-NORMAND

Société Anonyme des Chantiers et Ateliers AUGUSTIN-NORMAND

67, Rue du Perrey, LE HAVRE

Nombre de chevaux construits à ce jour : **14.120.** En construction : **4.800**

**pour SOUS-MARINS, NAVIRES de pêche ou de commerce, USINES**

*Marche au Gas oil, au Fuel oil, aux Huiles de houille, aux Huiles végétales*

## QUELQUES RÉFÉRENCES :

SOCIÉTÉ ANONYME DES GLACIÈRES BOULONNAISES, 131, rue d'Isly, BOULOGNE-SUR-MER :  
2 × 300 CV (Machines à glace).

TISSAGE A. SALMON, rue Jules-Lebleu, ARMENTIÈRES : 2 × 280 CV (Alternateurs).

COMPAGNIE DE NAVIGATION OLIVIER, 20, rue Auguste-Vacquerie, PARIS : Cargo "*Cité d'Athènes*", moteur 500 CV.

# Établissements LUCHAIRE

Société Anonyme au capital de 4 millions

SIÈGE SOCIAL :

*155, Rue de la Chapelle, SAINT-OUEN (Seine)*

CHAUDRONNERIE — BACS — RÉSERVOIRS  
APPAREILS D'ÉCLAIRAGE — CUIVRERIES

SPECIALISTE  
DU VIDE



Spires  
DEPUIS 1842



ET DE L'AIR  
COMPRI ME



P. J. MARCHAUT (Angers 109) D' Général  
Paul CHAUME (Angers 95) D' Technique.  
Léon LAPORTE (Châtenay 100) Chef de fabrication

MAGASIN D' EXPOSITION  
ET DE DEMONSTRATION  
67, Rue de Maubeuge  
PARIS

TEL. TRUDAINES OR 55  
N° 121 176

USINE & SIEGE SOCIAL  
26-30 rue de la Briche  
SAINT-DENIS

Seine  
ADRESSE TELEC. SPIROS-ST DENIS

PC

# L'ATOMISEUR REX

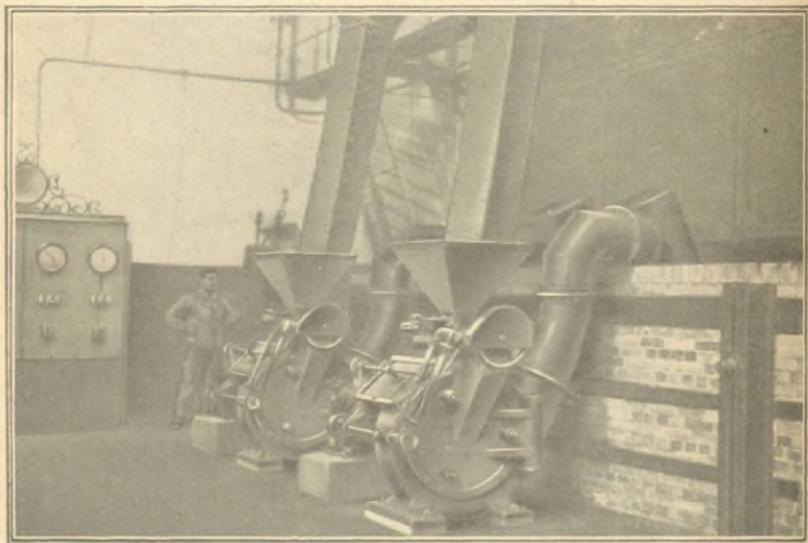
Brevets Georges LOY et E. MAURY

POUR LE

## CHAUFFAGE au CHARBON PULVÉRISÉ

des Fours, Chaudières et Locomotives

S'ADAPTE A TOUS LES PROBLÈMES  
PERMET L'EMPLOI RATIONNEL  
DES HOUILLES ET DES LIGNITES



Vue d'ensemble d'une installation d'ATOMISEURS REX  
sur une chaudière Babcock de 600<sup>ms</sup>

## SECBA

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 2.240.000 FRANCS

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHAUFFAGE AU CHARBON PULVÉRISÉ

*Siège social :*

23, rue Ballu, PARIS (9<sup>e</sup>)

R. de C. 75.905 Paris

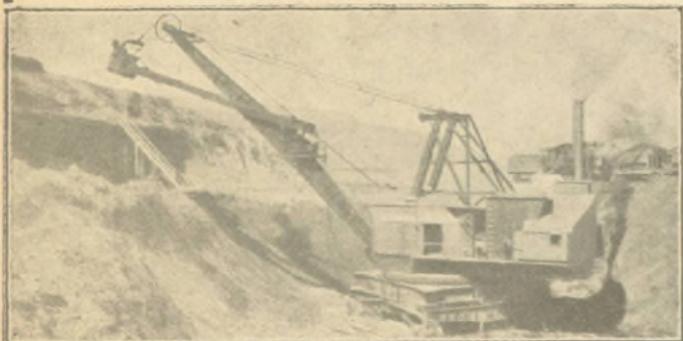
*Bureaux techniques :*

74, rue Berzéllus, PARIS (17<sup>e</sup>)

Téléphone : MARCADET 04-27

Adresse télégraphique : SECBAGRAM-PARIS

# BUCYRUS C<sup>o</sup> GRANDES PELLES DE DÉCAPEMENT



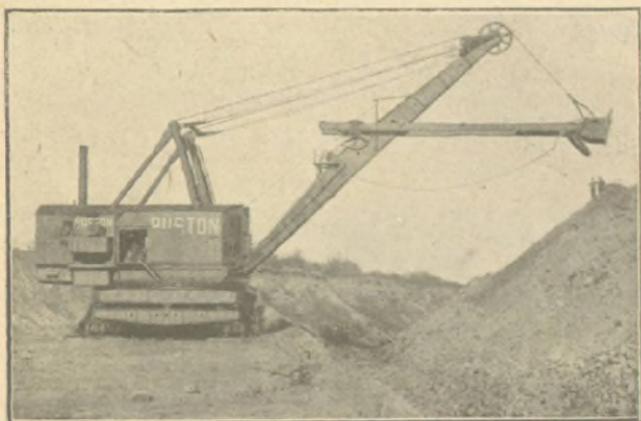
Pelle  
Giratoire  
320 B  
Godet  
6<sup>mc</sup>  
Flèche  
26<sup>m</sup>  
hauteur  
sous  
Godet  
20<sup>m</sup>

## Production journalière jusqu'à 3.000<sup>mc</sup>

Pour les travaux à ciel ouvert les grandes pelles BUCYRUS enlèvent le découvert jusqu'à 15<sup>m</sup> d'épaisseur en une seule passe.

Tous renseignements auprès de : Brunner (E.C.P.) et Marchand, 44, rue d'Amsterdam, Paris.

## PELLES RUSTON A VAPEUR & ÉLECTRIQUES HY BERGERAT et C<sup>ie</sup> PARIS, 10, Rue de Sèze, PARIS



## PELLE RUSTON DE 250 TONNES

GODET de 4<sup>mc</sup> enlevant la découverte d'un banc de lignite

PARIS — 3, Rue d'Anjou, 3 — PARIS

SOCIÉTÉ ANONYME  
DE  
TRAVAUX MÉTALLIQUES  
PARIS, BORDEAUX, ARRAS

Capital 30.000.000 de francs

Téléphone : ELYSÉES 91-26, 91-27

...

**Matériel de Transports et de  
Manutention Automatique**

des Lignite, du Coke  
et des sous-produits

*Chargement, Déchargement, Transports aériens  
Monorails, Grues, Culbuteurs de wagons, etc.*

PONTS-ROULANTS, APPAREILS DE LEVAGE  
CHARPENTES MÉTALLIQUES

ENTREPRISES GÉNÉRALES

D'USINES

pour CARBONISATION, DISTILLATION  
séchage, gazéification

ÉTUDE RAPIDE DE TOUS PROJETS

# SOCIÉTÉ EDIFI

## DISTILLATION DES LIGNITES

Usines à sous-produits

**FOUR VERTICAL CONTINU**

*système PIÉTERS*

**LAVEUR ROTATIF CONTINU**

*système COUNE*

USINE D'ESSAIS AU BOUCAU (B.-P.)  
LABORATOIRES AU PUY-EN-VELAY (H.-L.)

Téléphone { Central 38-45  
Gutenberg 79-17  
Louvre 13-32  
Louvre 14-97

*74, Rue Saint-Lazare, PARIS (9<sup>e</sup>)*

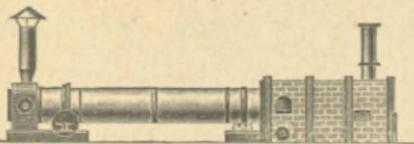
### CHAUDRONNERIE — FONDERIE — CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

ÉTABLISSEMENTS

**G. Vernon**

à LISIEUX  
(Calvados)

BUREAU A PARIS:  
9, r. des Petites-Écuries  
Tél.: BUREAU 41.63



**Séchoirs :**  
rotatifs,  
verticaux,  
à vapeur,  
à vide.

Établissements JOLY d'Argenteuil  
et LEROUX & GATINOIS réunis

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.500.000 FRANCS  
19 à 25, Rue de la Voûte — PARIS

**CHAUDIÈRES A VAPEUR — GROSSE CHAUDRONNERIE  
CHARPENTES MÉTALLIQUES**

R. C. Paris 240.585 B — Versailles 40.652

# Les Huiles de LIGNITES

brûlent parfaitement dans les

# MOTEURS DIESEL

## S. G. C. M.

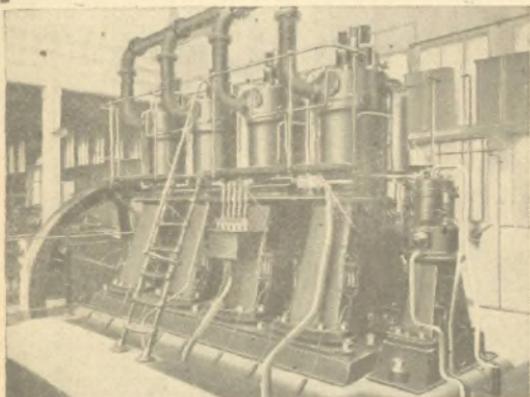
Société Générale  
de CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

Anciens Établissements  
**E. GARNIER**  
et **FAURE BEAULIEU**

*Appareils RATEAU*  
54, Av. de la République, PARIS

AUTRES SPÉCIALITÉS :  
Machines à vapeur — Moteurs  
à Gaz — Turbo-Machines

Ateliers à la Courneuve (Seine)  
R.C. Seine : 100.361



## LE CIMENT ARMÉ DANS TOUTES SES APPLICATIONS

PAR LES MÉTHODES ET PROCÉDÉS **H. QUILLERY**

SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS QUILLERY  
24, Rue Vergniaud, PARIS. — Tél. : Gob. 31-24

### CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES CUVES A HUILES LOURDES

## LABORATOIRE DES HUILES MINÉRALES

P.-CH. PÉTROFF, Ingénieur-Chimiste E.I.L., Directeur  
10, Rue Cadet, PARIS (9<sup>e</sup>) — Tél.: Bergère 44-69

Études modernes et complètes de la **Carbonisation**  
des *Schistes, Lignites et Charbons bitumineux*, avec  
séparation, raffinage et analyse des sous-produits.

Vérification des brevets

# GAUTHIER-VILLARS & C<sup>IE</sup>

Imprimeurs-Éditeurs

55, Quai des Grands-Augustins, PARIS (6<sup>e</sup>)

Les Combustibles liquides et leurs Applications. Ouvrage publié par le « Syndicat d'Applications industrielles des combustibles liquides ». Un volume in-12 de xxvi-622 pages, cartonné toile; 1921..... 20 fr.

GHESI (J.). — Formulaire industriel (Recettes utiles). Procédés utilisés dans les arts, les métiers et l'industrie. Caractères, essai et conservation des substances naturelles et artificielles d'usage commun. 2<sup>e</sup> édition; in-16 (18-12) de 508 pages; 1920..... 10 fr.

FRANCHE (G.). — La Tourbe et la Lignite. Gisements. Extraction et emploi. — Fabrication des briquettes. 1 volume in-16, avec 12 figures; 1917..... 4 fr.

BENOIST (L.), Ingénieur E. C. P. — Les méthodes modernes d'organisation industrielle, avec exemples du Calcul des temps d'usinage en construction mécanique, par HERMANN. Un volume in-8 carré (23-14) de 208 pages et 39 figures; 1923..... 18 fr.

HOGNON (J.), Ingénieur-Chimiste diplômé, Chef de service du Laboratoire des essais chimiques, mécaniques et électriques aux Forges d'Audincourt (Doubs). — Traité d'analyses chimiques métallurgiques à l'usage des chimistes et manipulateurs de Laboratoires d'aciéries Thomas. In-8 (23-14) de ix-155 pages, avec 13 figures; 1911 (B. T)..... 10 fr.

LEDEBUR (A.), Professeur à l'Académie des Mines de Freiberg (Saxe). — Traité de Technologie mécanique métallurgique. Traduit sur la 2<sup>e</sup> édition allemande par G. HUMBERT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et un Appendice sur la sécurité des ouvriers dans le travail, par M. JOLY, In-8 (25-16) de xv-740 pages, avec 729 figures; 1903..... 50 fr.

MIRON (François), Licencié ès sciences physiques, Ingénieur civil. — Les gisements miniers. Stratigraphie. Composition. In-8 (19-12); 1903. 3 fr. 75  
— Gisements minéraux. Stratigraphie et composition. In-8 (19-12); 1903. 3 fr. 75

SOLIMAN (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures. — Principes généraux de l'étrépage et du Tréfilage. Un volume in-8 carré (21-12,5) de 235 pages, avec 50 figures; 1924..... 15 fr.

FRIMAUDEAU (S.), Ingénieur E. S. E. — La soudure électrique à l'arc métallique. Un volume in-8 de 136 pages avec 80 figures; 1925. 10 fr.

**GAUTHIER-VILLARS & C<sup>IE</sup>**

Imprimeurs-Éditeurs

55, Quai des Grands-Augustins, 55

PARIS (6<sup>e</sup>)

**MASSON & C<sup>IE</sup>**

Éditeurs

120, Boulevard Saint-Germain, 120

PARIS (6<sup>e</sup>)

Envoi dans toute l'Union Postale, contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

Frais de port en sus 10 %.

# ENCYCLOPÉDIE LÉAUTÉ

(deuxième Série)

*Directeurs :* **ANDRÉ LÉAUTÉ** et **JEAN VILLEY**

*Créée pour apporter une contribution efficace à la collaboration tant prônée de la Science et de l'Industrie, cette nouvelle collection a la prétention, non pas de constituer une encyclopédie complète et méthodique, mais de faire paraître des ouvrages d'un caractère scientifique de premier ordre sur les questions industrielles que leur évolution récente, technique ou économique met à l'ordre du jour.*

Volumes parus :

- La fixation de l'azote atmosphérique et son avenir industriel**, par L. HACKSPILL, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg. Un volume de 272 pages..... 14 fr.
- Les progrès de la métallurgie du cuivre**, par A. CONDUCHÉ Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes. Un volume de 255 pages..... 14 fr.
- L'éclairage. Solutions modernes des problèmes d'éclairage industriel**, par E. DARMOIS, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Un volume de 280 pages..... 15 fr.
- Les économies de combustibles. — Conduite rationnelle des foyers**, par Pierre APPELL, Secrétaire général de l'Office de Chauffage rationnelle: 17 fr.
- Les procédés modernes de l'Industrie du Gaz. — Distillation de la houille**, par R. MASSE, Directeur, et A. BARIL, Sous-Directeur de la Société d'Éclairage, Chauffage et Force motrice..... 20 fr.
- Les procédés modernes de l'Industrie du Gaz. — Traitement des produits et sous-produits**, par R. MASSE et A. BARIL..... 20 fr.
- Les combustibles liquides**, par M. AUBERT, Chef des travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Paris..... 24 fr.
- Distillation du bois**, par G. DUPONT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux. Un volume in-8 de 309 pages, avec 52 figures; 1924. 25 fr.

La Revue  
de **Chimie Industrielle**

Publication mensuelle illustrée

55, Quai des Grands-Augustins — PARIS (VI<sup>e</sup>)

Tient ses lecteurs au courant  
des dernières découvertes et  
améliorations de l'industrie  
chimique et de la situation  
du marché chimique mondial.

Le Numéro : 3 francs

ABONNEMENTS :

Un an : France et Colonies, 30 fr. ; Union postale, 35 fr.

**REVUE DE CHIMIE INDUSTRIELLE**

S'adressant aux ingénieurs-chimistes, aux fabricants de couleurs, laques et vernis, aux raffineurs, aux savonniers, aux photographes, aux teinturiers, etc., cette revue est un excellent organe de publicité pour les annonceurs que ces industries intéressent.

*Comité de Patronage :*

**A. HALLER**

*Membre de l'Institut*

**G. MATIGNON**

*Professeur au Collège de France*

**G. CLAUDE**

*Administrateur de l'Air liquide*

*Rédacteur en chef :*

**Ch. COFFIGNIER**

*Ingénieur-Chimiste, E. P. C. P.*

*Lauréat de la Société Chimique de France et de la Société d'Encouragement*

*Chefs de Sections :*

COULEURS ET VERNIS. — Ch. COFFIGNIER, Ingénieur-Chimiste  
MATIÈRES GRASSES ET HUILES MINÉRALES. — M. DE KEHEL, Ingénieur-Chimiste  
INDUSTRIES CHIMIQUES. — M. L. PIERRON, Ingénieur-Chimiste  
COTE CHIMIQUE MENSUELLE. — M. M. SILBERMANN, Ingénieur-Chimiste

**GAUTHIER-VILLARS & C<sup>IE</sup>**

Imprimeurs-Éditeurs

55, Quai des Grands-Augustins, PARIS (6<sup>e</sup>)

## **SCIENCE ET CIVILISATION**

*Collection d'Exposés synthétiques du savoir humain*

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

**de Maurice SOLOVINE**

*La collection Science et Civilisation forme une bibliothèque de culture générale dans le sens le plus élevé du terme et présente un tableau fidèle de l'état actuel des recherches.*

Ouvrages parus :

- THOMSON (J.-J.)**, Professeur de Physique expérimentale à l'Université de Cambridge, Membre de la Société royale de Londres. — **Électricité et Matière**. Traduit de l'anglais par M. SOLOVINE. Préface de M. PAUL LANGEVIN. Un volume in-8 couronne de x-136 pages avec un portrait de l'auteur..... 6 fr. 50
- BEZANÇON (F.)**, Professeur à la Faculté de Médecine. Membre de l'Académie de Médecine. — **Les bases actuelles du problème de la Tuberculose**. Un volume in-8 couronne de vi-200 pages; 1922. Broché..... 7 fr.
- THOULET (J.)**, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences de Nancy. — **L'Océanographie**. Un volume in-8 couronne de x-288 pages..... 9 fr.
- GRANET (M.)**, Chargé de cours à la Sorbonne, Professeur à l'École des Hautes Études. — **La Religion des Chinois**. Un volume in-8 couronne de 204 pages..... 8 fr.
- FICHOT (E.)**, Ingénieur hydrographe en Chef de la marine. — **Les marées et leur utilisation industrielle**..... 9 fr.
- THIRRING (H.)**, Professeur de Physique théorique à l'Université de Vienne. — **L'idée de la Théorie de la Relativité**. Traduit de l'allemand par M. SOLOVINE. Un volume in-8 couronne de 184 pages, avec 8 figures; 1923..... 8 fr.
- CLOUARD (H.)**, Homme de lettres. — **La Poésie française moderne. Des Romantiques à nos jours**. Un volume de 401 pages; 1924..... 15 fr.
- ROUSSY (G.)**, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine. Chef des travaux d'Anatomie pathologique à la Faculté de Médecine. — **L'état actuel du problème du Cancer**. Un volume de 192 pages et 20 figures; 1924. 10 fr.

Paraîtra prochainement :

- URBAIN (G.)**, Professeur de Chimie à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **L'évolution des notions fondamentales de la Chimie. Le corps simple, l'élément, l'atome.**



Envoi dans toute l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.  
Frais de port en sus 10 %. (Chèques postaux : Paris 29.323) R. C. 23.520.

# Dictionnaire de Chimie Industrielle

COMPRENANT TOUTES LES APPLICATIONS DE LA CHIMIE

à l'Industrie, à la Métallurgie, à l'Agriculture, à la Pharmacie et aux Arts et Métiers  
avec la traduction russe, anglaise, allemande, espagnole  
et italienne de la plupart des termes techniques

PAR MM.

A. M. VILLON

INGÉNIEUR-CHIMISTE

PROFESSEUR DE TECHNOLOGIE CHIMIQUE

P. GUICHARD

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS

ANCIEN PROFESSEUR DE CHIMIE

A LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE D'AMIENS

AVEC LA COLLABORATION D'UN GROUPE DE CHIMISTES ET D'INGÉNIEURS

*Le but de cette Encyclopédie est de réunir, sous une forme facile à consulter, débarrassée de tous les détails théoriques, l'ensemble des connaissances actuelles sur la Chimie industrielle. — Elle s'adresse à toute personne appelée à s'occuper, de près ou de loin, des questions importantes mais souvent embarrassantes de la chimie appliquée. L'industriel est souvent gêné, lorsqu'il veut se procurer les renseignements dont il a besoin. Les traités spéciaux ne donnent pas entière satisfaction aux nécessités si diverses des exploitations industrielles; tantôt le document pratique cherche est noyé dans des détails trop théoriques, tantôt il est entouré d'explications plus ou moins claires, qui en rendent la lecture obscure et trop abstraite. — Le chimiste industriel trouvera dans ce Dictionnaire tous les procédés connus et toutes les méthodes de contrôle reconnues exactes.*

L'Ouvrage, complet en 36 livraisons, forme 3 vol. petit in-4°, prix 150 francs, broché  
ou 2 volumes, relié en 1/2 chagrin, dos orné, 185 francs.

Les fascicules de 1 à 13 ne sont pas vendus séparément :

1. Adaca à Acide azotique; 16 fig.	18. Farines — Fary, etc.; 20 fig.... 6 fr.
2. Acide azotique — Acide phénique; 82 figures.....	19. Fermentation — Fromages, etc., 59 figures..... 6
3. Acide phosphoreux — Acide sulf.; 75 figures.....	20. Galae — Gaz d'éclairage; 28 fig. 4
4. Acide sulfurique — Air; 44 fig.	21. Gaz — Glucose; 12 fig..... 4
5. Air — Alliages; 52 fig.....	22. Glucose — Gypse; 13 fig..... 4
6. Alliages — Amphibole; 54 fig..	23. Halosyte — Hydrotimétrie; 14 fig. 4
7. Amphigène — Auramine; 17 fig.	24. Hydrotimétrie — Jaune; 7 fig.. 4
8. Auramine — Bismuth; 37 fig... 4	25. Jaune — Lin; 15 fig..... 4
9. Bismuth — Brogérite; 27 fig... 4	26. Linoléum — Monazite; 15 fig.. 4
10. Brome — Caoutchouc; 48 fig... 4	27. Mordants — Or; 25 fig..... 4
11. Caoutchouc — Chloro; 55 fig... 4	28. Or — Pain; 27 fig..... 4
12. Chloro — Chromates; 53 fig... 4 fr.	29. Pain — Pétrole; 21 fig..... 4
13. Chromates — Corps composés; 26 figures..... 6	30. Pétrole — Pommades; 5 fig... 4
14. Corps composés — Dialyseurs; 50 figures..... 6	31. Poteries — Sang..... 4
15. Digestion — Eau; 46 fig..... 6	32. Santal — Soufre; 17 fig..... 4
16. Eau — Engrais; 23 fig..... 6	33. Soufre — Teinture; 30 fig..... 4
17. Éponges — Explosifs; 26 fig... 6	34. Teinture — Ferrerie; 37 fig... 4
	35. Verrierie — Zircon; 20 fig..... 4
	36. Complément [Introduit. et Fron- tispice]..... 4