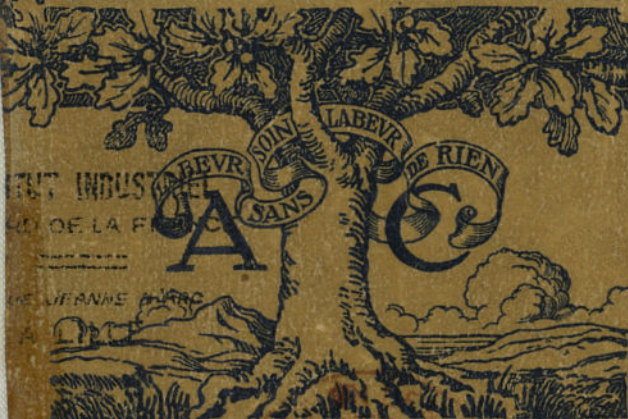


665.5\*CHA

JEAN-J. CHARTROU

PÉTROLES  
NATUREL  
ET  
ARTIFICIELS



COLLECTION ARMAND COLIN

ECOLE CENTRALE DE LILLE



IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

D000001134

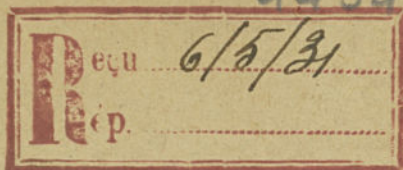
LIBRAIRIE  
ARMAND COLIN



≡ 10<sup>l</sup> 50 ≡



NI = 14544  
Dewey = 665.5 # CHA  
14544. I



INSTITUT INDUSTRIEL  
DU NORD DE LA FRANCE

17. RUE JEANNE D'ARC  
À LILLE





INSTITUT INDUSTRIEL  
DU NORD DE LA FRANCE

=====  
17. RUE JEANNE D'ARC  
À LILLE

*Pétroles naturel  
et artificiels*







N° 124

COLLECTION ARMAND COLIN

(Section de Chimie)

*Pétroles naturel  
et artificiels*

par

J.-J. CHARTROU

Ingénieur

52 figures



LIBRAIRIE ARMAND COLIN  
103, Boulevard Saint-Michel, PARIS

—  
1931

Tous droits réservés

INSTITUT INDUSTRIEL

DU NORD DE LA FRANCE

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

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

Copyright, 1931, by Max Leclerc et C<sup>ie</sup>



## PRÉFACE

---

*Parmi les matières premières, nécessaires à l'activité humaine, le pétrole se classe immédiatement après la houille. Cette place lui est assignée non seulement à cause de la moindre importance de sa production, mais aussi à cause de ses emplois plus restreints : il n'a pas encore, en effet, donné une gamme de produits chimiques, parfums, colorants, matières explosives, etc., aussi considérable que celle de la houille.*

*L'industrie pétrolière a acquis dans le monde une puissance immense par suite de la concentration des ressources minières, donc des capitaux investis, au profit d'un très petit nombre de trusts, alors que l'industrie de la houille, qui représente un capital plus considérable, est entre les mains de très nombreuses sociétés. De ce fait, elle détient un pouvoir industriel, financier et politique, que l'industrie houillère n'a jamais possédé.*

*Jusqu'à ces dernières années, la France s'était à peu près désintéressée de la question pétrole. Le pacte de San Remo et la création de l'Office des Combustibles Liquides ont été les premiers pas vers une politique nationale du pétrole. Une législation très stricte a été constituée. Enfin l'État a décidé de participer financièrement au développement de cette industrie.*

*L'intérêt de la question est donc accru par son actualité. Le but de ce livre est d'initier le public à la technique du pétrole et de ses substituts. Suivant l'usage de cette Collection, nous admettons que le lecteur possède les notions de physique, de chimie et de géologie nécessaires pour aborder avec fruit l'étude de l'industrie du pétrole. Ces notions sont exposées dans d'autres volumes de la Collection cités dans notre bibliographie.*

---

## INTRODUCTION

---

Le pétrole ou huile minérale ou naphte, est un mélange à usage de combustible, extrêmement complexe, se trouvant dans le sol à des profondeurs parfois considérables. Le mot *pétrole* provient de la réunion de deux mots latins qui lui donnent la signification d'huile de pierre. *Naphte* est un mot d'origine chaldéenne ou hébraïque. Les Anglais ont adopté la dénomination de racine latine *petroleum*. Le mot allemand *Erdöl* correspond à huile de terre.

Cette substance, dont les affleurements sont innombrables, est connue depuis très longtemps, principalement sous la forme de bitume, — résidu après évaporation des parties légères, — et sous la forme de gaz.

D'après la Bible, ce fut le bitume qui servit de ciment dans la construction de la tour de Babel ; l'Arche de Noé et le berceau de Moïse en furent enduits pour les rendre étanches.

Les Babyloniens utilisaient le bitume comme combustible dans leurs lampes, comme mortier, s'en servaient pour imperméabiliser les conduites d'eau et les barrages et, déjà, pour faire des routes. Une route en l'honneur du roi Marduk, partant du palais, était bituminée : « route brillante d'asphalte et de brique cuite, avec en dessous une puissante assise de sable en solide couche ».



Les Égyptiens embaumaient leurs morts et imperméabilisaient leurs greniers et leurs citernes avec cette poix.

Les Perses l'employaient dans la décoration de leurs vases et fixaient les yeux de leurs statues au creux des orbites avec cette substance. Le roi sumérien Sargon fut, comme Moïse, abandonné dans un berceau rendu étanche par du bitume.

Hérodote signale sa présence dans l'Is, affluent de l'Euphrate.

Les Romains en usaient en ornementation et en pharmacie. Pline l'Ancien mentionne l'existence de pétrole à Agrigente, Plutarque dans la région de l'Amou-Daria, Ammien Marcellin dans celle du Tigre.

A Bakou, la secte des adorateurs du Feu, qui vénèrent des flammes alimentées par des jets de gaz naturels, remonte à plusieurs siècles avant l'ère chrétienne.

Au cours d'un de ses voyages, Marco Polo en constate l'existence. De même, de nombreux navigateurs signalèrent la connaissance du naphte par les indigènes de l'Inde et des îles de la Sonde.

Pendant très longtemps le pétrole ne fut exploité que pour des usages domestiques ou lubrifiants (graissage des roues de charrettes). A partir du XIX<sup>e</sup> siècle, il donna naissance à une industrie de jour en jour plus formidable.

Celle-ci commença en Europe. En Galicie, elle date de 1854. Deux pharmaciens, en distillant une huile retirée du sol, constatèrent la présence de fractions légères très inflammables ; ils montèrent une petite raffinerie fournissant des produits pour l'éclairage ; depuis lors, par suite de l'introduction des méthodes mécaniques d'exploitation, cette industrie ne fit que progresser. L'éclairage au pétrole fut introduit à Bucarest en 1857 et, en 1893, la production roumaine atteignait 56 000 tonnes.

Si le Père franciscain de la Roche d'Allion mentionne, dès 1829, la présence d'huile minérale en Amérique, —

avec laquelle les indigènes graissaient leurs roues de chariots et soignaient leurs bêtes, — l'industrie pétrolifère date, aux États-Unis, du 27 août 1859. Ce jour-là, en effet, le « colonel » Drake, effectuant un forage à Titusville (Pensylvanie), obtint un jaillissement journalier de 1 600 litres d'huile. C'était le début de la formidable industrie américaine.

Dans cet ouvrage, nous nous proposons d'étudier successivement les propriétés physiques et chimiques du pétrole, ses conditions d'exploitation, son traitement et le commerce dont il est l'objet. D'autre part, comme ce combustible est relativement rare, et, selon le *Geological Survey of U. S. A.*, menacé d'un épuisement rapide, il convient d'étudier les substituts envisagés.

---





# PÉTROLES NATUREL ET ARTIFICIELS

---

## CHAPITRE PREMIER

### COMPOSITION DU PÉTROLE. SES PROPRIÉTÉS

---

Le pétrole brut est un composé de carbures des diverses séries accompagnés parfois de corps oxygénés, sulfurés et azotés. Il est différent des autres combustibles et occupe une place à part dans les diverses classifications de ces minerais.

#### CLASSIFICATION DES COMBUSTIBLES

Il est possible de séparer les combustibles en combustibles solides et combustibles liquides.

C'est une classification basée sur l'apparence, non sur quelque propriété scientifique, et laissant une incertitude au sujet des produits de consistance intermédiaire.

Les autres classifications parlent de bitume. Ce mot prête à de nombreuses confusions : sa signification variant avec les pays et les auteurs : sous ce vocable, on doit entendre des produits d'origine naturelle (et non de distillation de combustibles solides) liquides ou solides, entièrement fusibles, et, en général, solubles dans des solvants organiques.

**Classification de Malo.** — 1<sup>o</sup> *Bitumes* : *Pétrole* ; *Asphalie* ; *Cire minérale* ; *Asphaltite* : bitume associé à de la matière minérale et dont le constituant organique est fusible et soluble dans les solvants organiques.

2° *Pyrobitumes*. — Ces produits ont été soumis, au sein de la terre, à une température élevée et sont peu fusibles et presque insolubles.

*a) Asphaltiques* : composés non oxygénés ;

*b) Non asphaltiques* : Composés oxygénés (houille).

3° *Bitumes artificiels*. — Obtenus par traitement thermique des précédents.

**Classification de Mrazec.** — 1° *Bitumes*. — Ils sont gazeux, liquides ou solides.

2° *Substances bitumineuses*. — *a)* Associées à de la matière minérale ; *b)* associées à de la matière organique.

Diverses autres classifications ont été établies ayant pour base la chimie ou la géologie. Elles sont complexes et peu sûres.

## COMPOSITION

La composition du pétrole varie suivant sa provenance. On distingue les huiles :

1° A base paraffinique. — 2° A base naphthénique. — 3° A base intermédiaire. — 4° A base hydride.

Les huiles à base intermédiaire se rapprochent de celles à base paraffinique et les huiles à base hydride de celles à base naphthénique.

**Carbures.** — Les huiles pensylvaniennes et galiciennes contiennent presque uniquement des carbures saturés acycliques ou paraffiniques.

On rencontre des carbures benzéniques dans les huiles des fles de la Sonde (Bornéo 30 à 40 p. 100. Sumatra 20 à 35 p. 100), ainsi que dans certaines huiles américaines.

Les pétroles de Bakou sont très riches en naphthènes,

ceux de Galicie, de Java et du Japon en contiennent en notable proportion.

Il n'est pas impossible que les carbures éthyléniques, diéthyléniques, diéthyléniques cycliques, terpéniques et polycycliques trouvés lors de fractionnements très serrés, existent dans le pétrole brut. Ils peuvent provenir des décompositions inhérentes à ces opérations. Du reste, ils prennent naissance, certains en grandes quantités (carbures éthyléniques), lors du cracking.

Tous les termes de ces carbures peuvent se rencontrer dans les pétroles, depuis les produits légers gazeux constituant le gaz de sonde, jusqu'à des produits extrêmement lourds (en  $C_{50}$  par exemple) en solution dans les carbures liquides.

*Paraffine.* — La paraffine est un mélange de carbures saturés solides. Son importance est considérable. Sa présence en solution dans les huiles de graissage rend celles-ci peu résistantes au froid et par la suite inapplicables à de nombreux usages.

Il faut distinguer : la paraffine molle ou colloïdale ; la paraffine dure ou cristallisée.

Dans l'huile brute, la paraffine se présente sous la première forme, dans les distillats élevés sous la seconde. La transformation se fait aisément par chauffage à haute température. Elle peut être entravée par certaines impuretés (asphaltes).

La paraffine colloïdale serait constituée par des carbures en chaîne ramifiée et la cristallisée par des carbures en chaîne droite. La transformation est ainsi expliquée par une isomérisation.

La paraffine dure semble aussi se former au cours de la distillation aux dépens d'autres substances.

La quantité de paraffine contenue dans une huile est d'autant plus grande que cette huile contient davantage de carbures saturés (huiles pensylvaniennes). Les huiles naphthéniques en sont presque exemptes (huiles russes).

**Composés oxygénés.** — Certains pétroles contiennent de l'oxygène. La teneur ne dépasse guère 3 p. 100. Cet O est surtout fixé sur les grosses molécules. Dans certains affleu-



rements, se trouvent des masses asphaltiques provenant de l'oxydation par l'air d'huiles minérales et contenant jusqu'à 15 p. 100 d'O.

Les produits oxygénés sont d'ordinaire des acides, en chaîne ouverte ou fermée, dénommés acides pétroliques. Les acides acycliques ne sont pas libres, mais sous forme d'éthers-sels. Lors du traitement du pétrole, ils se concentrent dans la paraffine. Les acides cycliques ou naphéniques sont les plus répandus. Leur caractérisation est facile par la solubilité dans les carbures des sels de cuivre verts. Ils peuvent être obtenus par traitement alcalin du pétrole brut. Les huiles caucasiennes en sont les plus riches.

Les produits oxygénés peuvent également être constitués par des phénols. Les huiles californiennes, galiciennes et roumaines en contiennent quelque peu.

*Asphaltes.* — Les asphaltes sont des constituants non saturés et oxygénés des huiles de pétrole. Ils contiennent aussi un peu de soufre. Il faut distinguer :

L'asphalte dur insoluble dans l'éther de pétrole ;

L'asphalte mou insoluble dans le mélange éther-alcool ;

La résine de pétrole soluble dans l'alcool à 70 p. 100.

On peut admettre que ces produits se forment par oxydation et polymérisation des carbures non saturés. La résine et l'asphalte mou sont des termes dans la progression du carbure à l'asphalte dur.

Il y a également formation d'asphalte au cours de la distillation même, lorsque celle-ci est faite sous pression réduite.

*Composés sulfurés.* — Certains pétroles contiennent du soufre libre en solution qui cristallise par évaporation. Le soufre peut être également sous forme d'hydrogène sulfuré. On rencontre aussi des thiophènes, mercaptans et thio-éthers.

Le raffinage sulfurique introduit parfois des éthers sulfuriques que des lavages successifs n'éliminent pas.



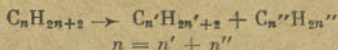
**Composés azotés.** — Les huiles minérales peuvent contenir jusqu'à 1,5 p. 100 d'azote sous forme de composés organiques extrêmement lourds. Il semble que ce soient des composés hydrogénés de la pyridine et de la quino-  
léine.

Certaines huiles peuvent également contenir des sels d'ammonium (naphténates) qui se décomposent en donnant la base facilement décelable.

### PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

**Action de la température et de la pression.** — Le chauffage des hydrocarbures à des températures élevées et sous pression ou non, amène des phénomènes de destruction et de condensation. La température et la pression nécessaires sont d'autant plus basses que les carbures sont plus complexes. La majorité des produits résultants sont plus légers que ceux de départ.

Les carbures saturés se dédoublent en carbures saturés plus légers et en carbures oléfiniques.



Les carbures saturés résultants se transforment à leur tour en produits plus légers par le même mécanisme. Le terme final de la décomposition serait le méthane et l'hydrogène.

Les carbures éthyléniques se condensent sous l'action de la chaleur et donnent des produits de plus en plus lourds. Le terme final est le brai, ou même le coke, accompagné d'hydrogène.

L'action de la chaleur et de la pression sur les carbures saturés est donc la formation de carbures saturés et de carbures éthyléniques plus légers, de produits extrêmement condensés (brai, coke) et d'hydrogène.

Les carbures benzéniques sont assez stables dans ces conditions. Les chaînes latérales se dégradent petit à petit jusqu'au benzène. Le noyau peut se condenser par élimination d'hydrogène (formation de naphthalène).

Les naphtésènes sont les carbures les plus stables. Sous de très dures conditions, il y a transformation en carbures benzéniques avec perte d'hydrogène ou isomérisation en carbures cyclopentaniques encore plus stables.

Ces réactions constituent les opérations de cracking ou de thermolyse qui ont pour but de transformer les produits lourds, de peu d'emploi et de valeur, en produits légers très demandés et par suite très chers.

**Action du trichlorure d'aluminium.** — Les carbures saturés mis en contact avec du  $\text{AlCl}_3$ , à des températures élevées, se transforment en carbures plus légers et en produits résiduels très condensés, mais en quantité moindre que sous l'action de la température et de la pression.

Les carbures oléfiniques ou benzéniques sont transformés, après combinaison avec le  $\text{AlCl}_3$ , en carbures méthaniques ou naphtéséniques.

Le chlorure d'aluminium favorise l'hydrogénation d'une partie de la molécule aux dépens de l'autre.

**Polymérisation.** — La polymérisation, ou réunion de plusieurs molécules en une plus complexe, n'existe que chez les carbures non saturés.

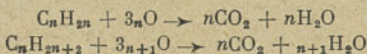
L'élévation de température, certains catalyseurs, les produits polymérisés eux-mêmes, peuvent accélérer la condensation. Les décharges électriques obscures jouent un grand rôle dans la polymérisation des huiles de graissage. Il y a formation de ce que l'on appelle les huiles voltolisées de viscosité considérable. Le mécanisme de la voltolisation serait un arrachement des atomes d'H et une condensation des produits formés non saturés.

**Oxydation.** — *Air, oxygène.* — Soumises à une oxydation lente, au contact de l'air et de la lumière, les huiles de pétrole se transforment en produits résineux et acides. Les carbures non saturés seraient les moins stables à cette action qui croît avec la complexité de la molécule.

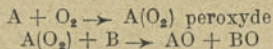
L'influence des décharges électriques obscures augmente la tendance à l'oxydation. L'augmentation de température et la présence de certains corps, agissant comme catalyseurs, produisent le même effet.

Il est possible de transformer ainsi les carbures en acides gras par oxydation catalytique, entre 150 et 200°, avec un rendement excellent.

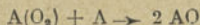
La combinaison sans ménagement de l'oxygène avec les divers produits pétrolifères transforme totalement les carbures constituants en eau et gaz carbonique.



L'autoxydation est un phénomène encore peu connu, sur lequel on a édifié de nombreuses théories. Certaines substances minérales ou organiques, assez stables vis-à-vis de l'oxygène ou de l'air, s'oxydent aisément lorsqu'elles sont mélangées à d'autres substances facilement transformables en peroxydes réagissant sur les premières. On n'a jamais isolé ces peroxydes.



A et B peuvent être identiques, alors :



Certaines substances peuvent jouer le rôle inverse, elles sont anti-oxydantes.

Les carbures sont autoxydables. Lorsque l'instabilité des peroxydes est grande, il peut y avoir déflagration. Les carbures éthyléniques donnent facilement des per-



oxydes assez stables. Ceux des carbures aromatiques le sont encore plus. Leur présence dans les huiles légères régularise l'autoxydation des carbures saturés dont les peroxydes sont fort peu stables.

*Oxydants.* — Sous l'action de certains oxydants ( $O_3$ ,  $KMnO_4$ ,  $CrO_3$ ), il y a transformation des carbures en aldéhydes, cétones et acides.

*Hydrogénation.* — L'hydrogénation ne peut se faire que sur les carbures non saturés ; elle est plus aisée sur les chaînes droites. La série aromatique exige de puissants moyens d'hydrogénation.

Les réactions d'hydrogénation sont chimiques ou directes. Le premier procédé n'est que peu employé pour les carbures. Les réactions directes s'opèrent à haute température et à haute pression et, le plus souvent, en présence d'un catalyseur, variable suivant le produit de départ et le produit d'arrivée.

L'hydrogénation du naphthalène donne successivement la tétraline — ou tétrahydronaphthalène — et la décaline — ou décâhydronaphthalène. La naphthalène est solide, les tétra et décalines sont liquides.

Dans le cours de la thermolyse, nous avons remarqué le départ d'hydrogène accompagné de la formation de carbures éthyléniques. Cette opération, effectuée sous pression d'hydrogène, diminue la quantité de carbures non saturés formée et, par suite, celle des produits de polymérisation. Une telle hydrogénation pratiquée sans catalyseur est à la base des procédés Bergius.

A l'hydrogénation, il faut lier le phénomène de la déshydrogénation provenant du fait que cette réaction est un équilibre.

Les naphtésènes sont les carbures les plus facilement déshydrogénables.



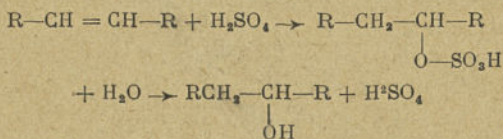
**Action des halogènes.** — L'halogénéation de certaines huiles de pétrole, suivie du départ de l'acide halogéné, conduit à des produits siccatifs. Elle peut également, après départ de HCl et oxydation permanganique, donner naissance à des acides gras extrêmement intéressants (acide palmitique).

**Action de l'acide sulfurique.** — L'action de l'acide sulfurique et de l'oleum, solution sulfurique de  $\text{SO}_3$ , s'exerce de plusieurs façons sur les divers constituants du pétrole.

Les carbures saturés sont assez stables ; ils se sulfonent et ne s'oxydent, avec départ de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{CO}_2$ , qu'en présence d'oleum et après un contact prolongé.

Les naphthènes sont également stables. L'oleum seul peut les attaquer. Il peut y avoir formation de produits aromatiques sulfonés.

Les carbures éthyléniques se polymérisent ou se transforment en éthers sulfuriques hydrolysables en alcools.



Les carbures aromatiques et polyaromatiques sont très peu stables et se transforment en produits sulfonés ou polysulfonés.

Les composés oxygénés et les composés sulfurés sont dissous. Ces derniers sont également sulfonés. Cette attaque est plus aisée que celle des aromatiques.

Les composés azotés, étant des bases, sont transformés en sulfates de ces bases. Ils sont également sulfonés.

Toutes ces substances peuvent être oxydées avec départ de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{CO}_2$ . Cette oxydation n'est plus, comme pour les carbures saturés, la plus importante. Ces diverses

réactions sont d'autant plus aisées que les corps en traitement ont plus d'atomes de carbone et sont plus ramifiés.

Le traitement des huiles minérales et, plus exactement, des divers produits retirés de ces huiles par l'acide sulfurique, est très employé pour le raffinage. Les corps les plus gênants (composés sulfurés, oxygénés, azotés) sont peu stables vis-à-vis de ces agents de raffinage; ils se transforment donc facilement. De plus, les divers produits obtenus, à l'inverse des produits non attaqués, sont solubles dans les lessives alcalines. Leur élimination est donc aisée.

**Action de l'acide nitrique.** — L'acide nitrique transforme les divers carbures en produits nitrés ou polynitrés, et les oxyde avec départ de vapeurs rutilantes,  $\text{NO}_2$ , et de gaz carbonique.

Par la nitration, on peut préparer, à partir de certains pétroles, des explosifs et des matières colorantes.

**Action du soufre.** — Le soufre est soluble dans les huiles minérales. Il peut également réagir sur celles-ci sous pression suivant deux processus différents en donnant des composés sulfurés cycliques (dérivés du thiophène) ou en déshydrogénant avec départ de  $\text{H}_2\text{S}$ .

**Action de l'acide sulfureux,  $\text{SO}_2$ .** — Le  $\text{SO}_2$  jouit de propriétés dissolvantes vis-à-vis des carbures non saturés et des produits sulfurés. Une action dissolvante peut être utilisée pour séparer ces produits, qui sont gênants, des huiles minérales (procédé Edeleanu).

**Action du plombite de sodium,  $\text{Na}_2\text{PbO}_2$ .** — Le plombite de sodium, en présence de S, précipite les composés sulfurés contenus dans les huiles minérales, sous forme de sulfure de plomb. Il est utilisé dans le raffinage.

*PROPRIÉTÉS PHYSIQUES*

**Densité.** — La densité des carbures — toujours inférieure à 1 — varie d'un terme à l'autre, dans une série, et d'une série à l'autre. A nombre égal d'atomes de C, elle croît quand on passe des carbures saturés acycliques aux saturés cycliques, puis aux aromatiques.

La densité d'un produit pétrolifère varie donc suivant sa composition. Elle est, sauf exception pour certaines huiles asphaltiques, inférieure à l'unité. La densité d'une huile brute des îles de la Sonde (aromatique) sera supérieure à celle d'une huile pensylvanienne (saturée).

**Solubilité.** — Les divers carbures sont peu solubles dans l'eau. Ces solutions n'ont qu'un faible intérêt comparé à celui des solutions d'eau dans les carbures. La teneur en eau augmente avec la température, mais diminue quand le poids moléculaire augmente.

La quantité maxima d'eau contenue dans une huile minérale est de  $\frac{1}{1\ 000}$ . Elle diminue lorsque l'on passe des produits légers aux produits lourds.

La solubilité des carbures dans le chloroforme, le sulfure de carbone et le tétrachlorure de carbone est considérable. Dans une même série, elle varie en raison de la température et en raison inverse du poids moléculaire. Les plus solubles sont les aromatiques, puis les oléfines, les naphthènes et les méthaniques.

Les composés oxygénés, sulfurés et azotés sont moins solubles que les carbures.

Les carbures sont partiellement solubles dans l'alcool. Cette solubilité décroît très rapidement lorsqu'on passe de l'alcool absolu à un alcool hydraté. Elle varie égale-



ment en fonction de la température et du poids moléculaire. Les carbures les plus solubles sont les aromatiques.

Les huiles minérales se comportent vis-à-vis de l'alcool comme les carbures. Une faible quantité d'aromatiques augmente considérablement la solubilité. Il en est de même avec l'alcool butylique.

**Viscosité.** — Soit, dans un fluide immobile, deux plans distants. Le déplacement de l'un par rapport à l'autre nécessite une force, inversement proportionnelle à la distance, proportionnelle à la surface, à la vitesse, ainsi qu'à un coefficient  $\eta$  qui n'est autre que la viscosité. C'est le frottement interne du fluide.

L'unité de viscosité ou *poise* s'exprime en dynes  $\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$ . C'est la viscosité d'un fluide dans lequel le déplacement de deux surfaces de 1 cm<sup>2</sup>, distantes de 1 cm, à la vitesse de 1 cm/seconde, nécessite une force de 1 dyne.

La viscosité est une des variables de l'écoulement lent d'un fluide dans un tube capillaire. Les autres variables sont le débit, la pression et le diamètre.

L'écoulement dans un tel tube se passe comme si des lames concentriques extrêmement minces se déplaçaient avec une vitesse augmentant depuis la paroi jusqu'à l'axe du tube. La viscosité est, dans ce cas, donnée par la loi de Poiseuille.

$$\eta = \frac{HD^4}{QL}$$

(H : pression. — D : diamètre du tube capillaire. — L : longueur du même tube. — Q : débit).

La viscosité régit également le déplacement lent d'un solide dans un fluide. La vitesse et la force appliquée sur le corps sont les autres variables de ce déplacement. Le solide circule dans le liquide entouré d'une gaine de zones



liquides d'autant plus fixes par rapport à lui qu'elles en sont plus voisines.

Le cas le plus facilement réalisable est la chute d'une sphère. La viscosité est alors, d'après la loi de Stokes :

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{(d - d')}{V}$$

( $g$  : constante de gravitation. —  $r$  : diamètre de la sphère. —  $d$  : densité de la sphère. —  $d'$  : densité du liquide. —  $V$  : vitesse de la sphère).

L'inverse  $\frac{1}{\eta}$  de la viscosité est la fluidité  $\varphi$ .

La viscosité des corps est fonction hyperbolique de la température.

Les hyperboles sont plus ou moins tendues suivant la nature des corps. Celles représentatives des variations de viscosité des huiles minérales le sont très peu. Si  $\varphi$  est la fluidité, l'équation de la température est :

$$t = a\varphi + \frac{b}{\varphi} + c \dots$$

La viscosité cinématique est le rapport de la viscosité absolue à la densité :

$$\text{Viscosité cinématique} = \frac{\eta}{D}$$

La viscosité spécifique est le centuple de la viscosité absolue. La viscosité spécifique de l'eau à 20° est 1,004, chiffre suffisamment près de 1 pour se confondre avec l'unité.

La viscosité moléculaire est le produit de la viscosité absolue par la surface moléculaire :

$$\tau_m = \eta \times S_m$$

La surface moléculaire est la puissance  $\frac{2}{3}$  du volume

moléculaire, qui, lui-même, est le produit du volume spécifique par le poids moléculaire :

$$[S_m = (V_m)^{\frac{2}{3}} = (MV)^{\frac{2}{3}}$$

La viscosité d'un mélange est représentée, en fonction des pourcentages des constituants, par une courbe de la forme de la figure 1.

Il existe de nombreuses formules pour le calcul des viscosités de mélanges.

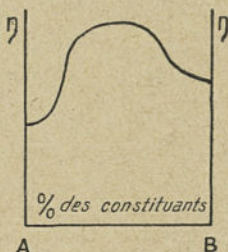


Fig. 1. — Viscosité  $\eta$  d'un mélange de deux corps A et B en fonction des pourcentages des constituants.

(Formule de Winslow-Herschell applicable seulement aux huiles).

$$\log \eta = V_1 \log \eta_1 + V_2 \log \eta_2$$

( $\eta$  : viscosité du mélange. —  $\eta_1, \eta_2$  : viscosité des constituants. —  $V_1, V_2$  : concentration des constituants.)

La viscosité d'une suspension est grossièrement donnée par :

$$\eta = \eta_1 (1 + aV).$$

( $\eta_1$  : viscosité de l'excipient. —  $V$  : volume des particules en suspension. —  $a$  : coefficient variable avec la nature du corps.)

*Rapport entre la viscosité et la constitution.* — A la température d'ébullition, la viscosité moléculaire d'un liquide est la somme des viscosités moléculaires de ses constituants. Les écarts observés sont très faibles, au maximum 2 p. 100.

	$\eta, m$
H .....	80
C .....	— 98
Double liaison .....	113
Noyau benzénique .....	610

	$\gamma_m$ réelle	$\gamma_m$ calculée
Hexane .....	480	470
Heptane .....	593	594

Il faut se placer dans des états comparables et ceci ne se trouve guère réalisé qu'à un changement de phase.

D'après Thustan et Thale, le poids moléculaire serait en relation avec la viscosité.

$$M = a(L\gamma + b)$$

$a$  et  $b$  sont deux constantes ;  $b$  n'est constante que pour une seule série.

$L\gamma$  peut être obtenu par addition des coefficients se rapportant soit aux atomes, soit aux groupements.

Il est facile de voir que les carbures saturés sont, pour une même chaîne carbonée, moins visqueux que les autres. Les benzéniques sont les moins fluides.

Alors que la viscosité est faible pour un produit léger, elle devient considérable pour une fraction élevée.

*Écoulement en régime Venturi.* — Tant que la vitesse du liquide et le rayon du tube sont petits, l'écoulement dans un tube obéit à la loi de Poiseuille. Mais si la vitesse ou le diamètre du tube augmente, cette loi ne s'applique plus ; l'écoulement, au lieu de se faire par couches concentriques, devient tourbillonnaire. C'est le régime turbulent ou régime Venturi. L'écoulement alors n'est plus proportionnel à la viscosité.

Le passage du régime Poiseuille au régime Venturi se fait par

$$\frac{dVD}{\eta} = 2000 \text{ c. g. s. (Reynolds.)}$$

( $d$  : densité. —  $V$  : vitesse. —  $D$  : diamètre du tube).

Le régime Venturi est celui des rivières et des canalisations de transport de liquides.

**Tension superficielle.** — La tension liquide-air croît dans les carbures lorsqu'on passe des saturés aux naphéniques, aux aromatiques et enfin aux éthyléniques. Il n'en est pas de même pour la tension interfaciale liquide-eau, qui diminue pour les mêmes causes.



Les tensions des huiles minérales dépendent des carbures constituants. La présence de résines et d'acides naphthéniques fait baisser considérablement la tension huile-eau, alors qu'elle influe beaucoup moins sur la tension huile-air.

**Émulsion.** — Lors d'un mélange de plusieurs corps, à tensions différentes, celui ayant la tension inférieure aura tendance à s'accumuler au voisinage de la surface de séparation soit d'avec l'air, soit d'avec un autre milieu. C'est ce qui se passe dans les huiles minérales. Les acides naphthéniques et les résines, de faible tension, se concentrent à la surface de séparation et diminuent ainsi la tension de l'huile.

Lorsque deux liquides A et B non miscibles sont agités, il se forme des gouttelettes. Par le repos, il y a séparation en deux couches. Les gouttelettes de A se réunissent après rupture de la pellicule de B qui les sépare, par suite des forces de tension. Si A est mélangé avec un corps de faible tension, ce dernier se concentrera à la surface de séparation des milieux A et B, la tension de A diminuera suffisamment pour qu'il lui soit impossible de briser la pellicule de B. Les gouttelettes resteront ainsi séparées, il y a émulsion.

Dans les huiles de pétrole, les acides pétroliques, les asphaltes et les résines en solution sont la cause d'émulsion avec l'eau. Les poudres fines sont également cause d'émulsion.

Il existe deux genres d'émulsion, *a* huile dans eau et *b* eau dans huile. Les colloïdes hydrophiles formant avec l'eau des émulsions où celle-ci est la phase externe, le mélange avec une émulsion *b* d'un tel colloïde peut amener sa rupture. Un colloïde hydrophobe agira de même sur une émulsion *a*.

Les charges électriques jouent également un rôle impor-



tant dans les émulsions. La substance ayant la constante diélectrique la plus forte est chargée positivement. Ainsi, dans le mélange huile-eau, les particules d'eau sont positives. Les charges de même nature se repoussant, les gouttelettes n'auront aucune tendance à se réunir. L'émulsion peut être rompue par addition de corps ionisables ou par création d'un champ électrique.

**Adsorption.** — Nous savons que dans le cas d'un mélange de corps dont l'un possède une faible tension, il y a concentration de celui-ci à la surface de séparation d'avec un autre milieu. Cette différence de concentration peut devenir considérable si le second milieu est constitué par un corps poreux. Les molécules du corps à faible tension se collent à la substance poreuse, elles sont adsorbées. C'est le phénomène bien connu de la décoloration au noir animal des matières colorantes.

L'adsorption croît avec l'augmentation de surface. Une poudre adsorbe d'autant plus qu'elle sera plus fine. Ce phénomène s'accompagne de dégagement de chaleur.

La substance adsorbante attire sur sa surface aussi bien les corps en solution A que le solvant B. Le rapport du nombre des molécules de A à celui des molécules de B dépend de la concentration et de l'attraction de l'adsorbant sur les deux genres de molécules.

Ce phénomène est réversible. Les molécules adsorbées peuvent être enlevées par B. Il y a équilibre.

Dans les huiles minérales, les résines, asphaltes et acides naphthéniques sont les plus facilement adsorbables. Ensuite viennent les carbures éthyléniques, les aromatiques, les naphthènes, puis les carbures méthaniques.

Le raffinage utilise parfois les phénomènes d'adsorption pour éliminer des impuretés des produits pétroliers.

**Lubrification.** — Théoriquement, le déplacement d'un corps pesant sur une surface plane nécessite une force infiniment petite. Pratiquement il n'en est plus de même, par suite du frottement du corps sur la surface. La force  $F$  nécessaire est plus grande au départ que pendant le reste du déplacement. Il y a donc frottement statique et frottement cinétique, ce dernier étant le plus faible.

Le frottement  $F$  est donné par :

$$F = f \times p$$

$f$  = coefficient de frottement. —  $p$  = poids.

Le coefficient de frottement dépend de la nature des surfaces en présence.

Ce que nous venons de définir est le frottement de glissement. Il y a lieu de considérer le frottement de roulement. Celui-ci est très inférieur au coefficient précédent.

Le frottement s'accompagne toujours de dégagement de chaleur.

Il dépend du poli des pièces en contact. Il y a engrènement des aspérités les unes dans les autres. Un poli parfait devrait l'annuler presque totalement. Il n'en est rien. De plus, il varie suivant la nature chimique des pièces. La structure moléculaire des deux surfaces intervient. Les champs de force provenant des affinités résiduelles des molécules se déplacent les uns par rapport aux autres et s'opposent au déplacement.

Le graissage consiste à remplacer le frottement des deux surfaces par un frottement beaucoup plus faible des surfaces sur un corps ayant une faible résistance au cisaillement.

Le graissage ne fait que diminuer le frottement. Par suite, il y a toujours dégagement de chaleur. La température du lubrifiant augmente et peut amener des pertur-

bations. Cette chaleur doit être dissipée par circulation de celui-ci.

Pour obtenir un bon graissage, le lubrifiant doit pouvoir s'étaler le plus possible sur les surfaces (mouillage). C'est le cas des liquides à tension superficielle faible. D'autre part, le lubrifiant doit adhérer. La présence de groupements actifs favorise cette adhérence. Ces groupements orientent la molécule et la collent énergiquement sur la surface. Enfin la viscosité ne doit pas être trop faible, le lubrifiant devant résister aux diverses actions qui tendent à le chasser : pression, laminage, cisaillement. Pour des forces peu considérables, l'emploi de lubrifiants fluides est suffisant ; pour des forces importantes, il faut utiliser des corps plastiques dont la résistance au cisaillement augmente avec les forces qui tendent à le cisailer.

Les forces de frottement dépendent :

De la vitesse relative des pièces,  $V$  ; des surfaces,  $S$  ; de leur écartement,  $e$  ; de leur charge,  $P$  ; de la température,  $T$  ; de la viscosité du lubrifiant,  $\eta$ .

$$F = A \frac{S}{e} \frac{1}{T} V^p \eta^q P^r$$

$$\frac{1}{2} < p < 1 ; \quad \frac{1}{2} < q < 1 ; \quad 0 < r < \frac{1}{2}.$$

( $A$  = coefficient variable).

De même qu'il existe un frottement statique, il existe un graissage statique. Au départ, les deux pièces, par suite de leur poids, ont à peu près chassé le lubrifiant et sont venues en contact. Il faudra une force élevée qui sera d'autant plus faible que le lubrifiant aura moins de tendance à être chassé. Le frottement, dans ce cas, dépend beaucoup plus des surfaces que du lubrifiant.

Lorsque la vitesse croît, le lubrifiant écarte les deux pièces et la charge ne porte plus que sur celui-ci.



Par suite de leur viscosité variant entre des limites considérables, par suite de leur faible tension superficielle, les huiles minérales lourdes possèdent des propriétés lubrifiantes remarquables. Le manque de groupements actifs les rend moins adhérentes que les huiles grasses (éthers-sels des acides gras) qui, du reste, sont très peu stables vis-à-vis de l'oxygène (oxydation et polymérisation).

**Propriétés optiques. — Couleur.** — Les huiles minérales possèdent des colorations variant du jaune au noir. Celles-ci peuvent provenir des produits oxydés ou sulfurés. La coloration noire est due à la présence d'asphalte.

Certains carbures cycliques et polycycliques sont colorés, tels le pyrène, le naphtacène.

Certains fulvènes ouverts le sont également.

La coloration peut, aussi, être due, non à des phénomènes d'absorption lumineuse, mais à une sélection effectuée par les systèmes hétérogènes que sont les huiles de pétrole. Les radiations diffusées sont de petite longueur d'onde, les radiations transmises sont de grande longueur d'onde.

**Fluorescence.** — La plupart des produits pétrolifères sont fluorescents en bleu (huiles russes) ou en vert (huiles pennsylvaniennes). La fluorescence est souvent accompagnée du *phénomène de Tyndall* — diffraction causée par hétérogénéité.

La fluorescence est probablement due à la présence de traces de certaines molécules fluorescentes dérivées des pyrènes, chrysènes, etc.

**Réfraction.** — L'indice de réfraction croît dans une série de carbures avec la densité. D'une série à l'autre, pour un même nombre d'atomes de C, l'indice est plus élevé

pour les aromatiques, puis pour les naphènes et les carbures saturés.

La réfraction moléculaire

$$R_m = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{D} = \Sigma R_a$$

( $n$  : indice de réfraction ;  $D$  : densité ;  $M$  : poids moléculaire) étant la somme des réfractions atomiques  $R_a$ , il est possible, connaissant la formule d'un corps, de connaître son indice :

	$R_a$
C	2,50
H	1,05
=	1,71

Les indices des huiles minérales sont compris entre 1,35 et 1,50. Ils varient avec la provenance pour des fractions de même nature.

	Fraction 190-210
Péchelbronn .....	$\eta = 1,462$
Bakou .....	$\eta = 1,475$

*Pouvoir rotatoire.* — Certaines huiles minérales possèdent un pouvoir rotatoire alors que leur structure n'indique nullement une activité. Ce pouvoir croît avec le fractionnement, les fractions les plus actives étant celles passant dans les environs de 270°.

L'activité des huiles de pétrole proviendrait de la présence de très petites quantités de substances extrêmement actives. Albrecht est arrivé à isoler de certaines huiles un produit ayant le poids moléculaire et la composition de la cholestérine, produit renfermé dans les organismes animaux. La cholestérine est lévogyre, alors que la plupart des huiles minérales sont dextrogyres, mais lorsqu'on chauffe cette substance, son pouvoir rotatoire gauche

s'annule peu à peu, puis devient droit. Il y aurait transformation en cholestane.

Le *phénomène de Rakusin* est lié au pouvoir rotatoire. Par suite de leur hétérogénéité, certaines huiles parfaitement transparentes en lumière totale ne se laissent plus traverser par la lumière polarisée. L'huile est dite *pleine*, elle est *vide* dans le cas contraire.

**Dilatation.** — Le coefficient de dilatation d'une huile minérale est d'autant plus petit que sa densité est plus élevée. Il en est de même quand on passe des produits volatils aux produits lourds.

Le coefficient de dilatation des huiles à base de carbures méthaniques est sujet à des anomalies causées par le changement de phase des constituants de la paraffine.

**Chaleur spécifique.** — La chaleur spécifique des huiles est voisine de 0°,5. Elle croît, d'ordinaire, à peu près régulièrement des produits volatils aux produits lourds. Le phénomène est inverse dans les carbures purs.

La valeur de l'élévation de la chaleur spécifique serait de 0,00007 par degré centigrade.

La chaleur atomique conduit à la chaleur spécifique.

C	chaleur atomique	1,3
H	—	2,3
O	—	4
S	—	5,4

$$C_s = \frac{\frac{a}{A} A_1 + \frac{b}{B} B_1 + \dots}{100}$$

(*a, b...* : teneur du corps en éléments A, B ; A, B... : Poids atomiques des éléments ; *A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>...* : chaleurs atomiques des éléments A, B).



**Solidification.** — A température ordinaire, les carbures à poids moléculaire élevé sont solides. Ce sont les constituants de la paraffine. Il en est de même pour les carbures aromatiques polycycliques.

Le point de solidification des huiles minérales varie avec la teneur en paraffine. Les huiles russes (naphthéniques) se congèlent beaucoup plus bas que les américaines (saturées).

Le point de solidification des fractions d'une huile va en croissant des produits légers aux produits lourds.

A l'exception de certaines huiles brutes ou traitées, très paraffineuses, les divers produits pétrolifères ont des points de congélation inférieurs à celui de l'eau.

**Ébullition des huiles minérales.** — Les points d'ébullition des carbures augmentent avec leur poids moléculaire. Pour un même nombre d'atomes de carbone, les points d'ébullition sont plus élevés pour les aromatiques que pour les naphtènes, et pour les naphtènes plus que pour les oléfines ou les carbures saturés.

	Points d'ébullition	<i>d</i>
Butane <i>n</i> .....	4°	0,600
Pentane <i>n</i> .....	38	0,645
Hexane <i>n</i> .....	70	0,668
Heptane <i>n</i> .....	98	0,699
Cyclopentane .....	50	0,758
Méthylcyclopentane ..	72	0,768
Cyclohexane .....	81	0,780
Cycloheptane .....	171	0,825
Butylène <i>n</i> 1-2 .....	3	0,635
Pentylène <i>n</i> 1-2 .....	37	0,670
Hexylène <i>n</i> 1-2 .....	69	0,680
Heptylène <i>n</i> 1-2 .....	97	0,702
Benzène .....	80	0,88
Toluène .....	111	0,878
Xylène 1-2 .....	138	0,878

J.-J. CHARTROU. — *Les Pétroles.*



La tension de certaines huiles minérales est grande ; aussi celles-ci se vaporisent aisément. Il reste un résidu dont la viscosité et la densité sont d'autant plus grandes que la vaporisation a été plus forte.

Par suite de la complexité des huiles minérales, on ne peut parler de points d'ébullition, mais de limites d'ébullition. Celles-ci seront variables selon la composition.

Les divers produits pétrolifères sont classés d'après leurs limites d'ébullition. Basses pour les essences, elles deviennent voisines de 300°, sous pression réduite, pour les fractions élevées des huiles de graissage.

**Chaleur de vaporisation.** — Dans une série de carbures, la chaleur latente diminue des termes légers aux termes lourds. D'une série à l'autre, elle diminue des aromatiques aux naphthènes et aux saturés.

La chaleur totale croît lorsqu'on passe des carbures volatils aux carbures lourds.

La chaleur totale de vaporisation est, pour les diverses huiles, comprise entre 130 et 190 millithermies. La chaleur latente décroît à partir des fractions légères.

**Pouvoir calorifique.** — Le pouvoir calorifique des carbures dépend de leur constitution.

La chaleur de combustion moléculaire, chaleur dégagée par la combustion d'une molécule d'un carbure acyclique  $C_nH_{2m}$  est donnée par :

$$10^{-3}C_M = 106,2n + 52,5m + 15,5d + 43,9t + 0,580$$

( $C_M$  : chaleur de combustion moléculaire. —  $n$  : nombre d'atomes de C. —  $2m$  : nombre d'atomes de H. —  $d$  : nombre de doubles liaisons. —  $t$  : nombre de triples liaisons).

Pour les carbures cycliques, elle est donnée par :

$$10^{-3}C_M = 104,3m + 49,1S + 105,5d$$

( $S$  = nombre des liaisons simples).

Le pouvoir calorifique diminue donc quand, dans une série acyclique, le poids moléculaire augmente.

Le pouvoir calorifique d'une huile minérale dépend de sa composition, ainsi que de sa place dans l'échelle de fractionnement. Le plus haut pouvoir calorifique est celui du méthane : 13 309 millithermies (supérieur). Les produits les plus lourds retirés d'un pétrole brut ont encore un pouvoir calorifique supérieur à 10 000 millithermies.

**Inflammation. Combustion.** — Les huiles minérales portées à une température suffisamment élevée brûlent en présence de l'air au contact d'une flamme.

Les vapeurs émises par les pétroles peuvent donner naissance à des explosions lorsqu'elles sont mélangées avec de l'air et chauffées à une température supérieure à la température d'inflammation (température d'inflammation du pentane, 835°). L'explosion se produit également lorsque le mélange est mis en contact avec une flamme ou une étincelle électrique ; cette source de chaleur porte à la température d'inflammation une région très étroite qui brûle. Celle-ci allume alors la région voisine et propage le phénomène de proche en proche.

Un mélange explosif ne peut être réalisé que pour certaines concentrations de vapeurs combustibles dans l'air comprises entre deux limites, inférieure et supérieure, assez étroites. Si l'air est en excès, la chaleur produite par la combustion au point d'allumage est absorbée par le comburant et ne peut enflammer les autres régions. Si la concentration en air est trop faible, la combustion n'est pas assez énergique pour se propager.

Les limites d'inflammation diminuent lorsque, dans une série de carbures, on passe des termes inférieurs aux supérieurs.

L'augmentation de température ou de pression du mélange gazeux a le même effet. La forme de l'enceinte



dans laquelle a lieu l'explosion et l'endroit où éclate l'étincelle influent sur les limites d'explosion.

Connaissant les limites d'inflammabilité des constituants d'un mélange, les limites de celui-ci sont :

$$\frac{n}{N} + \frac{n'}{N'} + \frac{n''}{N''} + \dots = \frac{1}{N_0}$$

- ( $n, n', n'' \dots$  : concentration dans le mélange des constituants.  
 —  $N, N', N'' \dots$  : limites d'inflammabilité des constituants.  
 —  $N_0$  : limite d'inflammabilité du mélange).

*Propagation de la combustion.* — Elle se fait, comme nous l'avons vu, de proche en proche, par inflammations successives. La vitesse est peu élevée. Passé un temps très court, la vitesse croît dans des proportions considérables. Apparaît alors l'onde explosive, accompagnée de phénomènes mécaniques extrêmement intenses. En même temps que l'onde explosive, apparaît une onde rétrograde se propageant dans les gaz brûlés.

La formation de l'onde explosive est liée à la forme de l'enceinte où elle se propage et à la pression siégeant à l'intérieur. On peut la retarder au moyen de substances antidétonantes (plomb tétraéthyl, carbures aromatiques) dont l'action n'est pas encore bien connue.

*Propriétés électriques.* — *Conductibilité.* — Les carbures d'hydrogène ne laissent passer que très difficilement le courant électrique. La présence d'impuretés ou d'eau augmente considérablement la conductibilité. La température agit dans le même sens, mais à un degré beaucoup moindre.

*Constante et rigidité diélectrique.* — La constante diélectrique des huiles minérales est voisine de 2.

La rigidité diélectrique  $R$  — résistance opposée par une

substance placée dans un champ électrique à se laisser traverser par une étincelle — est donnée par :

$$R = \frac{V}{l}$$

(V : tension d'éclatement. — l : distance des électrodes.)

La vitesse d'accroissement du champ et la forme des électrodes font éclater l'étincelle à des tensions différentes.

La rigidité des huiles minérales atteint parfois 10 000, mais elle diminue lorsque la teneur en impuretés ou en eau augmente. La courbe des rigidités en fonction de la teneur en eau est de forme hyperbolique. 0,5 p. 1 000 d'eau fait passer la rigidité de 10 000 à 2 000 (fig. 2).

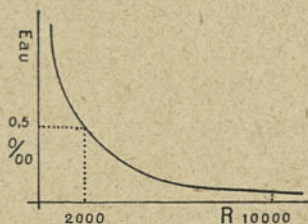


Fig. 2. — RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE R d'une huile en fonction de sa teneur en eau.

*Électrisation.* — L'écoulement de liquides à constantes diélectriques faibles dans des tubes métalliques fait naître, par suite du frottement, des charges assez élevées. Lorsque celles-ci ne peuvent s'écouler avec rapidité dans le sol, elles produisent des étincelles, extrêmement dangereuses lorsqu'elles éclatent au sein d'un mélange explosif.

## CHAPITRE II

### GÉOLOGIE<sup>1</sup> DU PÉTROLE

---

Le pétrole brut, c'est-à-dire tel qu'il se trouve dans la nature, est un liquide visqueux, possédant une odeur très caractéristique et une couleur variant du noir au jaune avec reflet vert ou bleu. Il est toujours plus léger que l'eau.

#### *FORMATION DU PÉTROLE*

L'origine du pétrole n'est pas exactement connue. Plusieurs théories s'opposent qui le font provenir soit de substances minérales, soit de substances organisées<sup>1</sup>.

**Origine minérale.** — Il existerait à l'intérieur du sol des carbures métalliques qui, au contact d'eaux d'infiltration, donneraient des hydrocarbures acétyléniques à chaîne courte. Par condensation et polymérisation, ces produits se transformeraient en produits de plus en plus complexes et pour la plupart saturés. Les carbures métalliques résulteraient de l'action du gaz carbonique sur les métaux alcalins (Moissant), ou sur le fer (Mendelejeff) et métaux de sa famille. Il pourrait y avoir également catalyse hydrogénante au contact de nickel pulvérulent par de l'hydrogène résultant de l'action de l'eau sur les métaux alcalins (Sabatier-Senderens).

---

1. Cf. John LEUBA, *Introduction à la Géologie* (Coll. A. Colin).



Dans le sol, il n'a jamais été trouvé de carbures métalliques, de métaux alcalins libres et de carbures acétyléniques.

Expérimentalement, en suivant une marche identique, Berthelot, Mendelejeff, Moissant, Sabatier-Senderens et d'autres encore ont obtenu des hydrocarbures lourds et saturés analogues à ceux de certains pétroles.

On a pensé lier la formation du pétrole aux phénomènes volcaniques en se basant sur le fait que les fumées d'éruption contenaient du méthane et que les gisements sont en rapport avec les dislocations du sol. Mais on n'a jamais pu trouver de roches volcaniques contenant des traces de carbures. De plus, à cause de la haute température, il y aurait décomposition et seuls subsisteraient les carbures légers, stables dans ces conditions. Enfin, aucun gisement n'a été rencontré au contact d'un volcan en activité.

**Origine organique.** — Le pétrole proviendrait de la décomposition, à l'abri de l'air, et en présence d'eau, d'organismes animaux. Il y aurait destruction de la plus grande partie des matières azotées et sulfurées. Les matières grasses restantes seraient saponifiées au contact de l'eau. Le groupement carboxyle disparaîtrait pour donner l'hydrocarbure de chaîne identique, mais possédant un atome de carbone en moins. La pression et la température joueraient un rôle très important dans ces transformations. Pour obtenir la puissance des gisements connus, il a fallu un enfouissement massif d'organismes : effondrement ou brusque variation des conditions de vie, par exemple, passage d'un régime d'eau douce à un régime marin, amenant la mort de nombreux poissons.

Engler est arrivé à reproduire des pétroles par distillation d'huiles d'animaux marins.

Cette théorie explique le pouvoir rotatoire présenté par les huiles minérales et dû à des produits dérivés de la cholestérine, substance existant dans les organismes. Les théories minérales ne peuvent donner aucune explication de cette propriété optique.

La présence de débris d'animaux marins a été souvent constatée dans les huiles minérales.

Le pétrole pourrait également provenir de la décomposition de végétaux. Dans ce cas, l'activité optique serait due à des produits analogues à la cholestérine (polystérols). D'ailleurs, les huiles obtenues par l'hydrogénation de la houille sont actives à la lumière polarisée.

Mrazec, le premier, a émis l'idée que l'action microbienne ne serait pas étrangère à ces transformations.

A l'heure actuelle, la théorie la plus adoptée est celle de l'origine organique du pétrole. Les différences considérables existant d'un gisement à l'autre, au point de vue composition de l'huile, font admettre des processus de transformation différents, soit à partir des végétaux, soit à partir des animaux.

### GISEMENTS

A l'inverse de la houille, le pétrole ne se trouve pas dans une formation géologique déterminée, mais se rencontre dans les terrains allant du primaire à la fin du tertiaire, surtout à partir des terrains secondaires récents. Les gisements sont au voisinage de régions où la sédimentation a été alternativement marine et d'eau douce. Ces conditions se rencontrent le long des géosynclinaux et des fossés tectoniques (zones d'effondrement entre des failles).

Le pétrole est presque toujours accompagné d'eau salée de provenance marine, bien que n'ayant pas la composition de l'eau de mer. Des iodures sont apparus provenant de la décomposition d'organismes en contenant. Les sulfates ont disparu par suite de leur réduction et se sont transformés en hydrogène sulfuré ou en soufre. En même temps se rencontrent des produits gazeux, parfois dissous dans l'huile et ayant la même composition.

Le pétrole se forme dans des couches marno-sableuses dénommées *roches-mères*. Ce n'est pas cependant dans ces formations que le sondeur les trouvera, car il émigre et se concentre dans les *roches-réservoirs*. Cette migration de l'huile est due à des phénomènes de capillarité, à des pressions hydrostatiques et orogéniques ainsi qu'à la volatilisation par la chaleur interne.

La roche-réservoir est une substance poreuse. La plus

commune est le sable. Le grès (sable aggloméré par cimentation), lorsqu'il est friable, est un excellent réservoir. Parfois le pétrole se concentre dans le calcaire, mais seulement par migration latérale par suite de faille ou de discordance.

La migration peut concentrer le pétrole dans plusieurs horizons où la pression est de plus en plus faible au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface.

La composition, à ces diverses hauteurs, n'est pas la même. Le pétrole des couches supérieures est, d'ordinaire, composé de produits légers par suite de la séparation effectuée par les diverses couches traversées. Il est parfois plus lourd lorsqu'il s'est oxydé au contact de couches perméables à l'air.

Les roches-magasins se présentent en lentilles interstratifiées dans des formations imperméables. S'il en était autrement, la diffusion de l'huile dans un très grand espace rendrait le gisement inexploitable. Les pétroles sont toujours concentrés dans les points hauts de l'horizon qui le contient.

**Gisements anticlinaux.** — Le pétrole se rassemble au voisinage de la crête des anticlinaux.

Lorsque l'anticlinal est déversé, le gisement s'étend davantage sur le flanc tendu que sur le flanc comprimé (Caucase).

Les *dômes* sont des anticlinaux à pendages<sup>1</sup> dans toutes les directions. Le pétrole se concentre au sommet (Lima-Indiana).

Les *plis diapirs* sont formés par des poussées salines traversant les diverses formations ; le pétrole se concentre sur les flancs (Moréni). Lorsque cette poussée n'affleure pas le sol, elle forme un dôme de sel ; l'huile est concentrée

---

1. Le pendage est la ligne de plus grande pente d'une couche géologique.



non seulement sur les flancs, mais aussi sur le sommet et le chapeau (Texas).

**Gisements monoclinaux.** — Les gisements sont alors ouverts ; les parties les plus volatiles se dégagent, les hydrocarbures restant peuvent être transformés en asphalte qui est à même de former le gisement (Californie).

Le gisement peut également être fermé par des failles (Péchelbronn). Dans ce cas, il peut arriver que la faille mette en contact deux couches perméables. Le gisement est alors ouvert.

Le gisement peut également être fermé par disparition de la roche-réservoir.

**Gisements synclinaux.** — Ces gisements sont très rares. Lorsque l'huile n'est pas accompagnée d'eau, elle descend et se concentre au point bas (Appalaches).

### PROSPECTION

Le pétrole se rassemblant dans les formations stratifiées et accidentées, il est inutile de le rechercher dans les régions cristallines et dans les régions à sédimentation normale. Les régions favorables sont les zones d'effondrement et le pied des chaînes de montagne (géosynclinaux).

L'ancienne méthode américaine du *wild cat* (chat sauvage) n'est pas recommandable, le prospecteur se basant, pour effectuer un sondage, uniquement sur une apparence vague ou même inexistante.

Le prospecteur devra donc faire une étude très approfondie de la stratigraphie et de la tectonique de la région. Les indications de surface sont pour cela souvent insuffisantes, l'érosion et des recouvrements accidentels ayant fréquemment fait disparaître les accidents de terrain. Il est alors nécessaire d'effectuer des sondages.

La prospection sera grandement facilitée par la pré-

sence de manifestations pétrolifères. Celles-ci sont souvent précisées par la toponymie du pays : Péchelbronn se traduit par *fontaine de poix* ; La Tongue, rivière de Gabian, vient probablement de *tonegare*, calfater (*tonga*, en langue d'oc, signifie bitume).

Ces manifestations sont des affleurements de gaz, d'eau, d'huile.

Les gaz se manifestent par leur inflammation (fontaines ardentes), par le bouillonnement à la surface d'une étendue d'eau ou par des jaillissements de boue.

L'eau n'est un indice que si elle contient des sels en solution. Elle doit être pauvre en sulfates et riche en iodures et bromures. La présence d'hydrogène sulfuré n'est pas obligatoire, celui-ci pouvant se fixer sur les minerais de fer ou s'oxyder en soufre.

Les affleurements d'huile sont difficiles à découvrir, lorsque celle-ci est légère, par suite de son évaporation. On ne la rencontre que sur les bords des coupures de terrain (sources, rivières). Lorsque l'huile est lourde, elle s'oxyde et se condense en asphalte imprégnant les alentours de l'affleurement. A la surface de l'eau, elle donne des irisations qui ne se détruisent pas par agitation comme celles dues au sulfure de fer. Il ne faut pas oublier que l'huile peut être portée au loin par un cours d'eau.

L'odeur donne parfois de précieux renseignements.

Enfin une étude géophysique sera toujours susceptible de donner de très sérieuses indications. Cette étude se fait rapidement et à peu de frais, par rapport aux sondages qui nécessitent l'investissement de capitaux considérables.

**Prospection géophysique.** — La prospection géophysique est basée sur des phénomènes de pesanteur, de conductibilité électrique, de magnétisme, d'élasticité.

D'autres actions ont été étudiées : radioactivité, chaleur géothermique.

**Pesanteur.** — En plusieurs stations, on détermine au moyen de la balance de torsion d'Etvös les valeurs de la pesanteur. Il y a lieu de tenir compte dans les résultats des variations de

pesanteur occasionnées par des accidents de terrain : collines, vallées, etc. Ces valeurs sont portées sur une carte et les points de même pesanteur sont reliés au moyen d'isogames. Il est ainsi

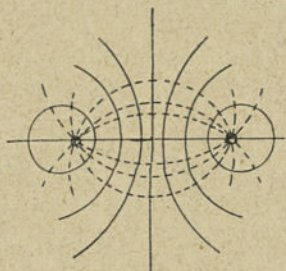


Fig. 3. — COURBES ÉQUIPOTENTIELLES dans le cas d'un terrain homogène.

Traits pleins, courbes équipotentielles.

Traits pointillés, lignes de force.

possible de connaître approximativement la position d'une anomalie du sol, ainsi que sa nature. L'attraction d'un dôme de sel est beaucoup moins forte que celle des terrains environnants.

*Conductibilité électrique. — Procédé Schlumberger.* — Une différence de potentiel est créée entre deux points du sol. Si le terrain est homogène, les courbes équipotentielles ont l'allure suivante (fig. 3).

Lorsqu'une masse isolante se trouve placée à proximité, le courant a plutôt tendance à la contourner qu'à la traverser. Les lignes équipotentielles sont repoussées

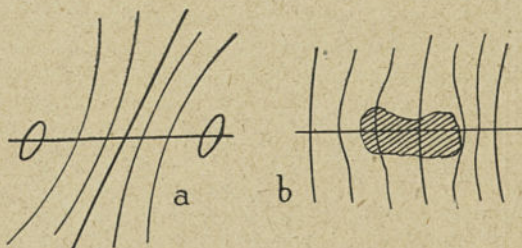


Fig. 4. — COURBES ÉQUIPOTENTIELLES dans le cas :

a) D'un terrain stratifié ;

b) D'une masse peu conductrice incluse dans le terrain.

par cette masse. L'inverse se produit quand la masse est plus conductrice que le reste du terrain (fig. 4).



Dans le cas d'un terrain composé de couches sédimentaires, le courant circule plus facilement parallèlement à ces couches que perpendiculairement. Les surfaces seront des ellipsoïdes dont le grand axe correspond à l'axe de stratification (fig. 4).

Une faille introduit une anomalie dans le profil de résistivité.

Les dômes de sel, importants dans la recherche du pétrole, sont aisément décelés par cette méthode par suite de leur conductibilité.

Les accidents de terrain influent sur ces mesures, par exemple une colline agira comme une masse conductrice, et un vallon comme une masse isolante.

Les différences de potentiel sont mesurées au moyen d'un potentiomètre réuni à deux électrodes impolarisables. Le courant continu est employé de préférence à l'alternatif, ce dernier introduisant des phénomènes d'induction et de capacité.

*Procédé Elbof.* — On détermine les surfaces équipotentielles, — et par suite les lignes de forces qui sont leurs perpendiculaires, — d'un champ électromagnétique. Connaissant la résistivité du terrain par étude d'échantillons, on calcule les lignes de forces dans le cas d'un terrain homogène. Les anomalies proviennent du sous-sol. Une masse isolante éloigne les lignes, une masse conductrice les rapproche.

*Magnétisme.* — L'inclinaison magnétique de divers points est relevée et portée sur une carte. Les isodynames relient les points de même intensité et indiquent ainsi les anomalies de la perméabilité magnétique du sol. On peut déceler ainsi un bloc de sel entouré de roches.

*Élasticité.* — On fait partir en un certain point une charge d'explosif et on note, en divers endroits, au moyen de sismographes, le temps mis par l'onde élastique pour arriver. La courbe du chemin parcouru en fonction du temps donnera des indications sur l'hétérogénéité du terrain. Dans le cas d'un terrain homogène, la courbe est une droite.

---

## CHAPITRE III

### EXPLOITATION

---

L'extraction du pétrole est aisée comparée à celle des autres minerais. Il suffit de forer dans le sol un trou pénétrant jusqu'à la roche-magasin. L'huile jaillit par suite de la pression gazeuse ou bien est pompée. Cette méthode a le grand inconvénient de laisser subsister dans le sable ou le grès des quantités considérables d'huile. Au maximum on retire 20 p. 100 de l'huile totale. Ce pourcentage peut être accru par l'utilisation des méthodes ordinaires d'exploitation des mines.

#### *FORAGE*

Les premiers forages furent des puits carrés ou ronds, de section voisine de 1 m<sup>2</sup>, exécutés à la main. L'attaque se faisait au pic ou à la pelle munis de manches courts. Au fur et à mesure de la descente, les parois étaient boisées afin de prévenir les éboulements. Un énorme soufflet envoyait un courant d'air au bas du puits et essayait de rendre respirable son atmosphère. Le fond était éclairé par une glace inclinée placée à l'ouverture. Un treuil vertical actionné par un manège à cheval servait à l'enlèvement des déblais, à la descente et à la remontée du personnel. Lorsque la couche productrice était atteinte, l'huile et le

sable jaillissaient parfois si brutalement qu'ils ensevelissaient les travailleurs. Le pétrole était extrait au moyen de récipients manœuvrés par le treuil. On ne pouvait guère dépasser, par cette méthode, une profondeur de 200 m.

Les forages actuels sont des puits circulaires de section étroite creusés au moyen de machines perforatrices. Le diamètre au sol atteint parfois 70 cm et dépend de la profondeur probable du sondage et de la nature du terrain. Au fur et à mesure du forage, les puits sont munis de tubages.

La manœuvre des divers accessoires du forage nécessite un chevalement dénommé *derrick*. Des hangars sont nécessaires pour abriter les machines motrices et les divers outils. Le derrick est en bois ou en fer et possède la forme d'une pyramide tronquée à base carrée. Sa hauteur varie de 18 à 36 m., à cause de la manipulation de colonnes de tiges et de tubes de grande longueur. Le chevalement métallique est léger, facilement démontable et transportable. Son incombustibilité est intéressante dans les petits incendies, mais beaucoup moins dans les grands, à cause de l'amoncellement de ferraille qui en résulte. Il résiste aux intempéries et aux insectes. Le derrick en bois, peu coûteux, annonce par des craquements son effondrement prochain lorsqu'on lui fait subir des efforts anormaux. Au sommet du chevalement, se trouvent plusieurs poulies commandées par des treuils mécaniques.

La force motrice est le plus souvent fournie par une machine à vapeur. L'entretien d'un tel moteur est très réduit, sa souplesse est grande et il ne risque pas de « caler » lorsqu'on lui demande un effort considérable. Malheureusement, il nécessite à proximité du forage la présence d'une chaudière, source de dangers d'incendie. Le combustible employé est, bien entendu, l'huile ou le gaz naturel. On utilise parfois des moteurs électriques, des moteurs genre Diesel, ou des moteurs à gaz.



Il existe plusieurs procédés de forage. Il est possible de distinguer :

1° Les méthodes par percussion. Un trépan (lourde masse à bords inférieurs tranchants) animé d'un mouvement vertical alternatif, brise par choc les diverses roches qu'il rencontre (sondage au câble ; sondage à tiges rigides (canadien) ; sondage à battage rapide).

2° Les méthodes par rotation : Le trépan animé d'un mouvement de rotation découpe peu à peu le terrain (procédé Rotary ; sondage à la couronne).

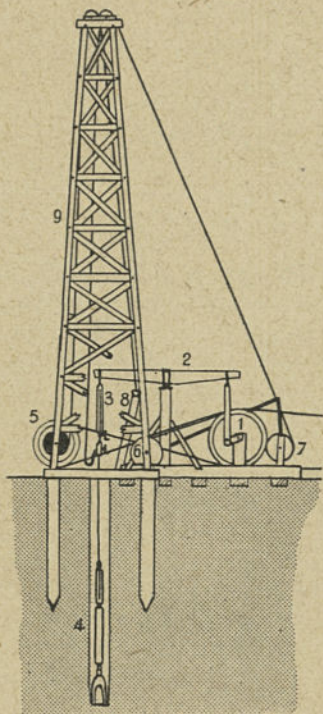


Fig. 5. — SONDAGE AU CÂBLE —  
1, Volant. — 2, Balancier. — 3, Vis de rallonge. — 4 (de haut en bas), Coulisse, masse-tige, trépan. — 5, Treuil du câble. — 6, Treuil du tubage. — 7, Treuil de curage. — 8, Cuillère. — 9, Chevalement.

**Sondage au câble.**  
— Le trépan est relié à un balancier par un câble. Les terres désagrégées sont enlevées au moyen d'une cuillère descendue au fond du puits (fig. 5).

Le balancier transforme le mouvement circulaire d'un volant

en mouvement alternatif. Le câble de sondage en chanvre, aloès, manille ou acier, de diamètre compris entre 30 et 80 mm., est serré dans la mâchoire d'une vis de rallonge reliée au balancier avant d'aller passer sur une poulie au sommet du derrick et de s'enrouler sur un treuil. Ce treuil est commandé par le volant au moyen d'une transmission que l'on place au moment de la manœuvre. La vis de rallonge permet de descendre le câble de petites quantités sans le dérouler.

A sa partie inférieure, le câble, serré dans une douille, est relié

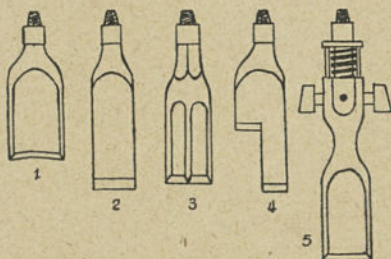


Fig. 6. — TRÉPANS. — 1 et 2, ordinaire. — 3, en croix. — 4, excentré. — 5, élargisseur.

au trépan par l'intermédiaire d'une coulisse, constituée par deux étriers coulissant l'un dans l'autre, et d'une barre de battage, — lourde barre allongée, dénommée aussi *masse-tige*, — destinée à l'alourdir. Toutes ces pièces sont réunies par des joints à vis coniques de façon à les monter et démonter très rapidement.

Le trépan, en acier, pèse jusqu'à 1 500 kg. Sa forme et ses dimensions dépendent du terrain que l'on fore (fig. 6). Son usure est assez rapide. Il est alors remplacé et reforgé. La cadence des coups est de 30 à 60 à la minute.

Le trépan, par suite de l'élasticité du câble, touche le fond du forage avant que le balancier ne soit à fin de course. Le câble est alors raccourci d'une petite quantité de façon à ce que le trépan ne touche le sol que grâce à l'élasticité de la liaison.

Les câbles métalliques sont bien moins élastiques que ceux en fibres végétales. Par suite, on ne peut employer les premiers

au début d'un sondage. Il est toujours bon de placer entre eux et le trépan une cinquantaine de mètres de câbles en fibre.

Afin d'obtenir des forages bien verticaux, le trépan doit être animé d'un mouvement de rotation. Ce mouvement est obtenu naturellement par les tensions successives des câbles de chanvre. L'emploi d'un câble d'acier nécessite la présence d'une douille.

Lorsque le forage passe d'une formation tendre à une formation dure non horizontale, le trépan a tendance à obliquer dans le sens de la stratification. Une telle inclinaison empêche le passage du tubage. Lorsqu'on s'est rendu compte de la non-verticalité du sondage, on relève les outils, on bourre avec de l'argile sur une certaine hauteur et on recommence à forer. Ce défaut peut également être corrigé par un trépan élargisseur.

Au début du forage, on manœuvre de façon différente. Le balancier est inutilisé. Le trépan, accroché à un câble et monté à une certaine hauteur, retombe par débrayage du treuil de commande. Ce travail est poursuivi jusqu'à forage d'une quinzaine de mètres, ce qui est suffisant pour loger la chaîne d'outils. Parfois on creuse à la main un avant-puits que l'on muraille.

Le sol défoncé sur une certaine profondeur, le trépan est soulevé par le treuil de forage après que l'on a dégagé le câble des mâchoires de la vis de rallonge. On descend la cuillère, cylindre en tôle ayant une longueur de plusieurs mètres et muni à sa partie inférieure d'une soupape. La manœuvre est effectuée par le treuil de curage que l'on embraye par friction sur le volant. Les boues formées par les débris et l'eau que l'on a toujours soin de laisser au fond du trou, remplissent la cuillère et sont remontées.

Dans le cas de déblais très sablonneux, la cuillère est remplacée par une pompe à sable qui les aspire par pistonnage.

Le tubage est manœuvré par un troisième treuil muni d'un embrayage à dents et commandé par le volant au moyen d'une chaîne Galle. Par suite de leur poids, les tubes sont reliés au câble de manœuvre par un palan.

Lorsqu'il est nécessaire de faire suivre le trépan par le tubage, on doit employer des élargisseurs, trépan excentrés ou munis de couteaux qui s'écartent sous l'action d'un puissant ressort dès que l'outil a quitté le tube (fig. 6).

Le forage au câble convient particulièrement bien dans la traversée des terrains durs et peu éboulés.

**Forage à tige rigide.** — Au lieu d'être suspendu à un câble, le trépan l'est ici à une colonne de tiges rondes en



acier ; auparavant ces tiges étaient en frêne munies à leurs extrémités de ferrures.

Les tiges, longues d'une dizaine de mètres et épaisses de 3 à 4 cm, sont vissées les unes aux autres au moyen de raccords coniques. Le raccord femelle est toujours placé en bas de façon à éviter l'accumulation de débris. Les extrémités sont garnies de carrés de façon à pouvoir être saisies par les tourne-à-gauche et les clefs de retenue lors du montage et du démontage.

La liaison des tiges au balancier se fait par l'intermédiaire d'une chaîne enroulée autour d'un treuil placé sur le balancier et que l'on dévide au fur et à mesure de l'avancement, ou par une vis de rallonge. Comme on ne peut par ces procédés allonger de 10 m — longueur d'une tige — le train d'outils, on utilise des tiges plus courtes que l'on remplace par une tige normale lorsque la longueur voulue est atteinte. Par suite du poids considérable de la colonne, le balancier est muni d'un contrepoids.

La coulisse dont l'utilité n'était pas immédiate dans le précédent procédé est ici absolument indispensable. Elle empêche les chocs du trépan de se répercuter jusqu'au balancier et permet de frapper plusieurs coups sans toucher au système d'allongement. La coulisse peut être remplacée par un joint à chute libre.

La cadence est, comme précédemment, de 30 à 60 coups à la minute.

Le forage est maintenu vertical assez facilement. La rotation du trépan est effectuée en imprimant aux tiges un mouvement tournant. La rigidité de la liaison trépan-balancier empêche, dans une certaine mesure, le trépan d'obliquer au passage d'une formation tendre à une formation dure. La verticalité est encore accrue par l'emploi de guides glissant dans le tubage.

Le grand inconvénient de ce procédé est le curage du puits. La colonne de tiges doit être démontée, puis remontée. La vitesse de ces deux manœuvres est triplée par le dévissage d'un raccord sur trois.

Dans ce procédé, nous rencontrons, comme dans le précédent, trois treuils. Le treuil de sondage sert ici à la manœuvre des tiges.

Le trou de sondage est souvent rempli d'eau jusqu'en haut.

• **Sondage à battage rapide.** — Le grand inconvénient des appareils de sondage à tige rigide est la longueur du curage. Fauvelle eut l'idée d'effectuer cette opération en amenant un courant d'eau à travers les tiges de forage

jusque sous le trépan. L'eau, dans sa remontée entre les parois et les tiges, entraîne les déblais. La vitesse de remontée doit être suffisante pour ramener au sol des matériaux même assez gros. Il n'est alors plus besoin de relever le trépan, si ce n'est pour le remplacer. La difficulté se rencontre à la liaison entre la colonne de tiges et le trépan. La seule solution vraiment pratique a été la suppression de la coulisse.

*Système Raky.* — Le balancier est suspendu par deux tiges à une traverse reposant, par l'intermédiaire de ressorts puissants,

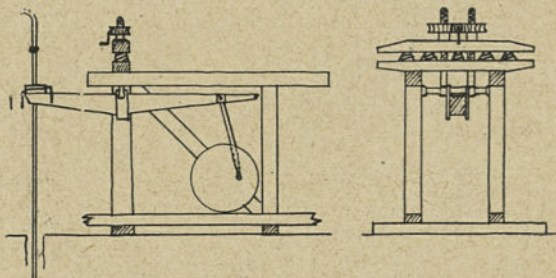


Fig. 7. — SYSTÈME RAKY (côté et face). I, clef sauteuse.

sur un solide bâti. Ces ressorts ont pour but d'amortir les chocs et d'empêcher leur transmission au reste du bâti (fig. 7).

L'ensemble des tiges et du trépan venant heurter le fond du sondage, la hauteur de chute est réduite à 15 cm. Le nombre de coups peut atteindre 130 à la minute, mais on ne dépasse que rarement 100.

La descente de la colonne de tiges se fait au moyen de deux bagues superposées. La tige est serrée dans la bague inférieure, la supérieure, soulevée d'une hauteur de 15 mm par des ressorts, est serrée, à son tour, sur la tige, en même temps que l'on desserre la première. Les ressorts s'écrasent par suite du poids et il ne reste plus qu'à serrer la bague inférieure et desserrer la supérieure pour continuer la progression.

En même temps, on donne un mouvement de rotation à la colonne de tiges pour assurer la verticalité du sondage.

L'eau est amenée à la partie supérieure des tiges par un joint à rotule et débouche au bas du trépan. A sa sortie, l'eau est décan-tée, puis elle est reprise par les pompes et retourne au forage.

Ce procédé, dont la vitesse est considérable, permet la tra-versée des terrains de toutes duretés, ébouleux ou non.

La manœuvre des tiges et du tubage nécessite la présence de deux treuils.

**Système Fauck.** — Les tiges sont suspendues au balancier par l'intermédiaire d'un câble qui règle l'allongement et sert de liaison élastique. De puissants ressorts agissent sur le balancier à l'opposé des tiges. Le nombre de coups peut atteindre 250 à la minute.

**Système Volsky.** — Le mécanisme de battage est constitué par un marteau hydraulique supporté au fond du forage par une colonne de tiges creuses (fig. 8).

Le trépan est solidaire du piston. Sous l'action de son ressort, la soupape de tête est ouverte et l'eau s'écoule par les événements. Lorsque la vitesse de l'eau atteint une certaine valeur, la pression exercée sur la soupape est supérieure à la force du ressort, la soupape ferme les événements. L'augmentation brusque de pression produit un coup de bélier qui chasse le piston. Par suite du rebondissement de la colonne d'eau, la soupape s'ouvre et le piston est alors rejeté en arrière par un puissant ressort. Ce cycle se répète 300 fois par minute.

Pour limiter la hauteur de la colonne d'eau soumise aux effets des coups de bélier, on interpose un réservoir d'air étroit et très allongé au-dessus du marteau.

Les déblais sont remontés par le courant d'eau. La cadence dépend de la pression de l'eau et de la force des deux ressorts. Ceux-ci s'avachissent peu à peu, ce qui nécessite leur remplacement.

Ce procédé est peu employé.

**Sondage Rotary.** — Dans ce procédé, au lieu d'agir par



Fig. 8. —  
SYSTÈME  
VOLSKY.



percussion, le trépan découpe le terrain. Sa forme est généralement celle d'une queue de poisson dont les deux ailes sont repliées en sens inverse. Cette forme ne convient pas au travail dans les formations dures. Il est alors indiqué d'utiliser un outil muni de fraises qui agissent par écrasement (fig. 9).



Fig. 9. — TRÉPANS  
POUR ROTARY (en  
queue de poisson).

Le trépan est suspendu à une colonne de tiges creuses servant également à l'amenée de l'eau de lavage qui débouche le plus près possible de la surface d'attaque. Les tiges en acier ont une longueur de 6 m et un diamètre pouvant atteindre 0,15 m. Elles sont réunies par des raccords à pas de vis coniques. La colonne de tiges est terminée à sa partie supérieure par une barre de section

carrée ou polygonale pouvant glisser au travers d'une ouverture de forme identique, percée dans la table de rotation dénommée *rotary*. Deux boisseaux mobiles permettent le passage des tiges et du tubage sans déplacer la table (fig. 10).

Le sommet de la tige carrée est relié à un raccord tournant qui permet l'introduction de l'eau et la suspension de la colonne à un palan. Le rotary est relié par deux pignons d'angle et une chaîne Galle à un arbre moteur qui entraîne également le treuil de manœuvre.

La colonne de tiges est descendue au fur et à mesure de la progression du sondage. Lorsqu'il est nécessaire d'ajouter un élément de tiges, on relève, après arrêt du rotary, la colonne jusqu'au dessous du joint de la tige carrée, on la serre au moyen de coins et on interpose entre la tige ronde et la barre carrée une autre tige ronde.

L'eau est injectée dans le puits au moyen de pompes ; elle est récupérée à sa sortie.

Ce procédé, excellent pour la traversée des terrains tendres et

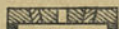


Fig. 10. — TABLE  
DE ROTATION  
(plan et coupe).

éboulex, peut être complété par l'emploi du procédé au câble lorsqu'il s'agit de traverser des formations dures où l'on userait par trop de trépan à fraises.

L'inconvénient du rotary est la grande tendance qu'il présente aux déviations. On peut la combattre en plaçant une masse-tige au-dessus du trépan. Celle-ci agit comme volant.

L'emploi du rotary est très répandu.

**Sondage à la couronne.** — Le terrain est découpé par un cylindre d'acier muni à sa base d'une couronne garnie de diamants et animé d'un mouvement de rotation.

Ce cylindre est fixé au bout d'une colonne de tiges creuses réunies par des joints à vis. Au sol, la colonne traverse une table tournante qui l'entraîne dans sa rotation et à l'intérieur de laquelle elle peut glisser. A son sommet sont fixés, par un raccord tournant, le tuyau d'amenée d'eau et le système d'accrochage.

La couronne découpe une carotte qui se loge dans le cylindre. L'eau passe entre le cylindre et la carotte, empêche le coincement de cette dernière et remonte les divers déblais (fig. 11).

Lorsque l'on est descendu d'une certaine longueur correspondant à celle du cylindre, on relève l'appareil. La carotte est alors brisée à sa base par un extracteur E et son examen donne des renseignements extrêmement intéressants sur la nature des terrains traversés.

La couronne de diamants peut être remplacée par un revêtement en stellite<sup>1</sup> du bas du cylindre ou par une injection de grenaille de fonte.

Ce procédé de sondage est extrêmement utile dans l'étude des terrains.

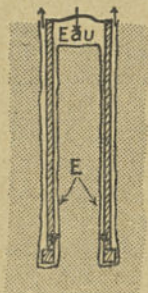


Fig. 11. — SONDAGE A LA COURONNE.

1. Carbure de fer extrêmement dur.

**Instrumentation.** — Les divers outils descendus au fond du forage peuvent se coincer, leur liaison au balancier ou au rotary se briser. De tels accidents sont réparables.



Fig. 12. — CLOCHE DE REPÊCHAGE.

Dans le sondage au câble, lorsque le trépan se coincé, on cherche à le dégager en battant quelques coups vers le haut. La branche supérieure de la coulisse frappe violemment l'inférieure à l'égal d'un marteau et peut amener ce dégagement. Si ce procédé ne réussit pas, on coupe le câble au moyen d'un couteau spécial au ras de la douille (fig. 13). Les outils engagés sont alors saisis par une colonne d'outils composée d'une lourde masse-tige d'une longue coulisse et d'une cloche de repêchage (fig. 12).

La cloche de repêchage possède des coins qui se soulèvent à l'entrée de l'outil à relever et se serrent énergiquement lorsqu'on la soulève. Le trépan est dégagé par battage vers le haut.

Le terrain entourant l'outil à dégager peut être ameubli par un *spud* (fig. 13).

Lorsqu'un câble se brise, il faut, avant de relever l'outil, le déchiqueter au moyen de harpons ou de couteaux.

Les barres brisées sont relevées après qu'elles se sont

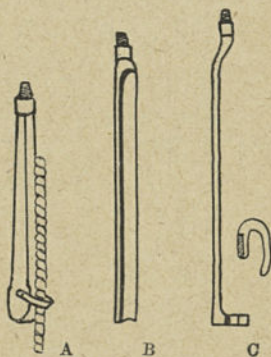


Fig. 13. — COUPE-CABLE (A), SPUD (B), CARACOLE (C).



coincées dans une cloche de repêchage ou qu'une *caracole* les a saisies au-dessous d'un épaulement (fig. 13).

Un outil terminé à sa partie supérieure par une anse (cuillère) sera repêché au moyen d'une fourche à barette.

Parfois les outils ne peuvent être repêchés par les procédés précédents. Si le sommet de la partie accidentée est trop volumineux, on l'amène à la forme voulue par une fraise ou une râpe fixée au bout d'une colonne de tiges. Le relevage des outils peut également s'effectuer par vissage d'une colonne de tiges après taraudage. L'outil est, dans ce cas, soulevé par une pression de bas en haut produite par des *vérins*.

Lorsqu'un appareil ne peut être relevé, il ne reste plus qu'à l'enfoncer dans les parois du forage en le pilonnant.

**Emploi de l'eau argileuse.** — On a intérêt à ne pas employer l'eau de circulation de forage pure, mais chargée de fines particules d'argile. (Ces particules restent en suspension extrêmement longtemps.) L'eau, dont la densité atteint 1,3, exerce des pressions hydrostatiques considérables, supérieures aux pressions des fluides contenus dans les couches perméables. Elle pénètre ainsi ces formations et les colmate en abandonnant son argile. Ce colmatage consolide les couches et permet de travailler sans être immédiatement protégé par un tubage.

Le forage sans circulation peut être effectué dans un puits rempli d'eau lourde. Dans le cas du forage à corde, les câbles en chanvre ou similaire ne peuvent être employés.

### INCENDIES

Il arrive parfois que les jaillissements d'huile ou de gaz prennent feu malgré toutes les précautions employées. Les pertes et les dangers que présente un jaillissement

en feu sont considérables et il faut tout tenter pour faire cesser le sinistre.

L'incendie peut être étouffé par des jets de vapeur et des nappes de boue. On peut, en creusant une galerie, atteindre l'huile ou le gaz avant son inflammation, en détourner une partie, diminuer ainsi l'intensité du feu et étouffer celui-ci plus facilement.

Un autre procédé consiste à approcher du puits par une galerie, puis à disposer une assez grande quantité de dynamite et à faire sauter le haut du forage.

### TUBAGE

Lors de l'exécution d'un forage, il est nécessaire de soutenir les terrains traversés par un tube métallique, le *casing*. Sans lui, des éboulements se produiraient au passage des formations tendres.

Le tubage sert également à isoler les diverses formations les unes des autres. Lorsque l'eau envahit une formation pétrolifère, elle chasse devant elle l'huile et, finalement, on se trouve en présence d'un mélange d'eau, de pétrole et de gaz. La viscosité de l'eau étant plus faible et sa tension superficielle plus forte que celles de l'huile, c'est donc presque uniquement celle-là qui arrivera au puits. Le pétrole ne pourrait être recueilli qu'après pompage de toute l'eau, or cette dernière opération est impossible.

Les fuites de gaz, au travers des formations perméables, occasionnent des pertes de combustible, des pertes de pression — ce qui diminue la quantité d'huile capable d'être extraite, — des dangers d'incendie.

Le pétrole peut également pénétrer dans une couche stérile d'où il est impossible de le récupérer complètement.

Le tubage doit suivre le trépan le plus près possible.

Comme ce dernier outil passe à l'intérieur du casing, son diamètre doit être plus petit, cela nécessite l'agrandissement du forage au moyen d'élargisseurs. (Voir p. 46). Par suite de la résistance des terrains traversés, il arrive un moment où le tubage refuse de s'enfoncer, même lorsqu'on le bat au mouton. Le forage est alors continué avec un diamètre plus petit et on tube avec un casing plus étroit. Le tubage est complet ou télescopique (fig. 14).

Le tubage à colonne perdue est peu employé. Il ne sert qu'à la consolidation des formations tendres (fig. 14).

L'isolement des formations peut s'effectuer par une seule colonne munie d'autant de joints qu'il est nécessaire ou par autant de colonnes — terminées par un joint — qu'il y a de couches à fermer. Les joints doivent toujours être effectués en formation imperméable.

Le tubage est fait au moyen de tubes d'acier, suffisamment épais pour résister aux pressions auxquelles ils sont soumis, réunis par des bagues filetées de façon à ce qu'il n'y ait aucune saillie à l'intérieur de la colonne. Les pas de vis sont également coniques.

Le tubage serré dans un *elevator* est manœuvré au moyen d'un palan commandé par un des treuils du derrick. L'assemblage des divers éléments se fait au moyen de clefs spéciales.

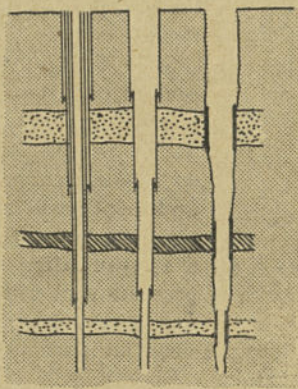


Fig. 14. — TUBAGE (complet à gauche, télescopique au milieu, à colonne perdue à droite).



Lorsque, par suite des pressions considérables, le tubage est faussé, on le redresse au moyen de redresseurs à galets ou d'olives en bois (fig. 15).



Fig. 15. —  
REDRES-  
SEUR A  
GALETS.

Le battage, à l'endroit où un coincement s'est produit, dégage la colonne et permet son relèvement.

Si le tubage vient à se rompre, on fait prise à l'extrémité supérieure de la partie rompue au moyen de tarauds coniques. Il est également possible de coincer dans le casing, un arrache-tuyau (fig. 16). Ces procédés sont utilisés lorsque, pour relever aisément



Fig. 16. —  
ARRACHE-  
TUYAU.

un tubage coincé, on le segmente au moyen d'un outil coupant.

**Joints.** — Les joints sont le plus souvent placés au bas d'une colonne de tubage. On les obtient par serrage du bas du tubage dans la paroi, par *packer* ou par cimentage.

Le joint par serrage se fait en munissant le pied du tubage d'un sabot assez long qui, par battage, s'encastre dans la paroi. La fermeture est meilleure si le sabot est légèrement conique. Le deuxième procédé de fermeture est obtenu par gonflement d'une garniture. Très simplement on place un sac de graines de lin à l'endroit du joint et on opère le gonflement par arrosage.

Les packers sont des appareils plus perfectionnés. Il en existe de nombreux modèles. Le plus souvent, ils provoquent le gonflement d'une ceinture de caoutchouc par compression ou serrage conique entre le tube et un chapeau immobilisé par des griffes.

La fermeture par cimentage est incontestablement la meilleure. Son étanchéité est parfaite. La hauteur du cimentage est

aussi grande que l'on veut. Ce procédé présente un défaut : il reste au fond du forage un bouchon de ciment qu'il faut briser lors de la continuation du sondage. Ce ciment peut être introduit au moyen d'une cuillère, *dump bailer*, au fond du forage et on le fait remonter autour du tubage par pression.

Il est également possible d'injecter le ciment au moyen d'un tube descendu au fond du forage, ou de le faire descendre entre deux tampons dans le tubage lui-même, une certaine pression étant exercée au-dessus du tampon supérieur.

Pour s'assurer de l'étanchéité d'un forage après fermeture des formations perméables, il suffit de le vider de l'eau qu'il contient et de voir s'il demeure à sec. Lorsqu'on ne peut le vider entièrement, on examine la constance du niveau de l'eau.

**Abandon de forage.** — Lorsque, par suite de non-production ou de cessation de production, on se décide à abandonner un forage, il y a intérêt à ne pas récupérer le tubage et à remplir le sondage d'eau argileuse. On peut ainsi reprendre les travaux lorsqu'il en est besoin.

### EXTRACTION

Lorsque le forage atteint la couche pétrolifère, l'huile peut jaillir par suite de la pression des gaz. Si cette pression est faible, le curage montre la présence du pétrole. Dans le cas des appareils à curage par circulation d'eau, l'huile n'est souvent décelée que par examen attentif de l'eau sortant du puits.

L'huile minérale extraite du gisement est dirigée dans des réservoirs qui doivent être prévus d'une capacité plus que suffisante et édifiés avant la rencontre de la roche-magasin. Dans le cas de jaillissements brutaux le pétrole, arrivant en quantités massives, peut déterminer de véritables inondations contre lesquelles il faut lutter par endiguement.

Il est utile de connaître la production d'un puits. Elle se mesure par jaugeage des réservoirs. Un puits isolé devra

comporter deux réservoirs afin que la marche soit continue. Si plusieurs puits sont voisins, chacun possédera un réservoir et il y aura, pour l'ensemble, un certain nombre de réservoirs supplémentaires.

**Jaillissement.** — Le problème de l'extraction du pétrole est assez simple lorsqu'il jaillit naturellement du sol. Dans ce cas, on écrase le jet au moyen d'une épaisse plaque de fonte et on dirige l'huile vers les bacs de stockage par des rigoles. Par suite du sable entraîné, la plaque s'use rapidement et doit être changée à intervalles rapprochés. Ici on n'est pas maître de la production et on est obligé de recueillir tout ce qui jaillit.

Il est plus avantageux de couvrir l'orifice du forage par une vanne munie à l'amont d'une tubulure latérale. La vanne manœuvrable à distance est fermée, l'huile s'écoule alors par la tubulure également fermable. L'appareil doit être solidement ancré dans le sol pour que, étant fermé, l'arrachement ne puisse se produire.

**Pompage.** — Si l'huile ne jaillit pas ou si elle ne jaillit plus, il faut l'extraire par pompage, puisage, capillarité ou émulsion.

Le pompage est l'opération la plus fréquente. Un corps de pompe fixé au bas d'une colonne de tubes, le *tubing*, est muni d'un clapet. Un piston, également muni d'un clapet, circule à l'intérieur de ce corps. L'étanchéité est assurée au moyen de cuirs emboutis, mais l'huile et le sable les corrodent rapidement. Un piston-plongeur de grande longueur et de diamètre plus petit que le corps donne, sans garniture, d'assez bons résultats.

Il est parfois nécessaire de ramener au jour le clapet de pied ; aussi est-il simplement coincé et muni d'un pas de vis mâle pouvant se raccorder à un pas de vis femelle placé sous le piston. Une rotation de ce dernier, amené au contact, permet la prise du clapet et son décoincage. Il suffit alors de remonter le tout. Dans le même but, le clapet peut être muni d'une tige coulissant dans le piston (fig. 17).



Au bas du casing, afin d'éviter, dans la mesure du possible, l'entrée du sable, on place une crépine, le plus souvent faite par perforation du dernier élément de tubage et par enroulement d'un fil de fer trapézoïdal, dont la petite base est accolée au tube afin d'éviter l'obturation par coincage des grains.

Le piston est solidaire d'une colonne de tiges ou d'un câble qui lui communique son mouvement de va-et-vient. Le câble présente un moindre danger de rupture, mais une surcharge doit être placée au dessus du piston, son propre poids étant insuffisant pour le faire descendre. Par suite de l'élasticité de cette liaison, on ne sait jamais exactement l'endroit où se trouve le piston.

A la suite du tubage et pour éviter le départ des gaz dans l'atmosphère, les tiges et les câbles, ces derniers fixés à l'intérieur d'un tube, traversent un presse-étoupe.

Les tiges commandant le piston sont actionnées à partir d'une station centrale de force ou par moteurs individuels.

Lorsque le puits n'est pas sujet à des incidents nombreux, le derrick est démonté. La pompe est alors commandée, en même temps que de nombreuses autres, par une station centrale. La liaison est effectuée au moyen de tiges ou de câbles animés d'un mouvement alternatif et supportés par des tringles oscillantes. La station de commande se compose d'un moteur dont le mouvement de rotation est transformé par un excentrique en mouvement oscillant. Le moteur peut être électrique, à vapeur ou à explosion. Dans ce cas, on peut obtenir à peu près gratuitement la force motrice en employant les gaz de sonde. La commande de l'excentrique doit se faire de préférence par train d'engrenage. Une courroie peut sauter; elle patine lorsque le diamètre des poulies n'est pas assez grand. Le mouvement horizontal des commandes est transformé en mouvement vertical par des sonnettes.

Si le fonctionnement du puits cesse pour une cause quelconque,

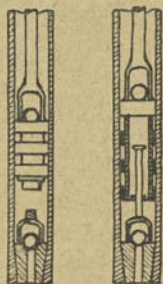


Fig. 17. — POMPES (système de remontage du clapet de pied).

les réparations sont effectuées en utilisant un derrick transportable.

Lorsque le puits exige un entretien incessant, le derrick doit être laissé en place et le pompage est alors effectué au moyen du moteur ayant servi au sondage. Le balancier est, dans ce cas, muni d'un secteur circulaire auquel est relié, par l'intermédiaire d'une chaîne, la commande de la pompe.

Cette dernière solution présente plusieurs inconvénients. La présence d'un moteur thermique est dangereuse par suite des risques d'incendie. Ce moteur ne peut rester sans surveillance et nécessite du personnel. Le remplacement du moteur thermique par un moteur électrique blindé fait disparaître ces inconvénients. Le blindage évite l'inflammation des gaz par les étincelles électriques. La présence d'un ouvrier est complètement inutile.

Le pompage peut se présenter sous une forme différente. On descend à l'intérieur du tubage, jusqu'à la couche pétrolifère, un second tubage de diamètre intérieur constant. Dans ce tube, coulisse un piston très lourd, muni d'un clapet suspendu à un câble commandé par un treuil. Lorsque le piston est en bas, l'huile passe par dessus, on le remonte et l'huile se déverse. Ce n'est qu'une pompe dont le corps a la longueur du puits.

**Puisage.** — Une cuillère, constituée par un cylindre muni à sa base d'un clapet, est descendue jusqu'à l'huile, puis remontée à la surface. Ce procédé est intéressant lorsque le pompage est rendu quasi impossible par la présence de grandes quantités de sable.

La cuillère est manœuvrée par un des treuils du derrick, le treuil de curage si ce dernier existe. La manœuvre demande la présence de deux ouvriers, l'un surveillant le moteur et le treuil, l'autre amenant la cuillère sur un des côtés du forage pour la vider. Le câble est sujet à une usure considérable aux deux endroits où il repose sur la molette, par suite du patinage exercé par cette dernière au moment des arrêts.

**Capillarité.** — Un câble sans fin, plat, en chanvre, animé d'un mouvement assez rapide, plonge dans l'huile, la

remonte par capillarité et adhérence, et l'abandonne par compression entre des rouleaux.

**Émulsion.** — Lorsque le niveau de l'huile est assez élevé, on injecte de l'air au moyen d'un tube, l'huile s'émulsionne avec l'air et l'émulsion remonte entre ce tube et un autre descendu en même temps.

La présence de sable ne gêne pas. Le rendement mécanique est mauvais. Les gaz sont perdus. Parfois l'air entraîne les parties les plus volatiles de l'essence et l'émulsion se résorbe difficilement.

**Gaz.** — Les gaz accompagnant le pétrole sont parfois recueillis et dirigés dans des réservoirs. On peut les utiliser sur place comme source d'énergie ou les conserver pour en extraire les parties condensables.

Lorsqu'un sondage ne donne que du gaz et que celui-ci est en grande quantité, on a intérêt à le capter soit en vue d'en extraire les parties condensables, soit en vue de le distribuer comme le gaz d'éclairage. Ce fut pendant longtemps la seule source de gaz de la ville de Pittsburg (Pen.).

**Méthodes complémentaires d'extraction.** — Lorsque la valeur des produits extraits d'un puits ne compense plus les frais de l'extraction, celle-ci est arrêtée et le puits est abandonné jusqu'à ce que de nouvelles méthodes permettent une extraction moins onéreuse ou que l'huile augmente de prix.

Il est possible, par certains artifices, de retarder le moment d'abandon d'un puits ou d'un gisement.

**Emploi du vide.** — En faisant le vide dans un sondage, le gaz encore occlus dans le gisement doit se dégager et l'huile affluer au puits. Un tel procédé n'a malheureusement pas donné tout ce qu'on attendait de lui.



*Emploi de la pression d'air, de gaz ou d'eau.* — L'injection d'air comprimé dans un puits est pratiquée pour faire affluer l'huile dans des puits situés autour du premier. L'air est injecté à une pression voisine de 10 kg. Le cuvelage du puits doit être particulièrement étanche : fermeture par un packer recouvert de ciment et forage plein d'eau argileuse. L'injection de gaz naturel à la place de l'air élimine le plus grave défaut de cette méthode, le mélange air et gaz étant explosif et peu utilisable.

Opérée avec de grandes précautions, — lorsque la configuration du sous-sol le permet, — l'introduction d'eau dans un gisement pétrolifère peut faire affluer l'huile vers des puits situés à l'entour de celui où s'est faite l'opération.

*Torpillage.* — La résistance que rencontre l'huile pour affluer à un puits dépend du diamètre de ce dernier. La vitesse des filets liquides augmente au fur et à mesure qu'ils approchent du sondage. La résistance à l'écoulement présentée par le terrain augmente avec la vitesse. L'agrandissement du bas du forage peut accroître la quantité de pétrole drainée par le puits.

Cette opération peut s'effectuer en faisant éclater une charge de nitroglycérine descendue au fond du puits. L'explosion se fait par chute d'un poids, le *go devil*, ou par un procédé électrique. Le torpillage donne d'intéressants résultats lorsque le terrain est composé de roches dures. Dans le cas de roches tendres, les parois de la chambre formée par l'explosion étant fortement comprimées seraient imperméables.

Grâce à l'emploi de cette méthode, des puits stériles sont devenus producteurs. Le rendement de certains puits a pu être considérablement augmenté.

*Élargissement.* — L'emploi d'un élargisseur de grand diamètre donne les mêmes résultats que le torpillage et, de plus, permet l'élargissement dans le cas d'une formation tendre.

### EXPLOITATION PAR PUIITS ET GALERIES

Nous avons vu que les sondages étaient incapables d'épuiser l'huile contenue dans un gisement. Le sable retient par absorption 40 p. 100 de pétrole qu'il est impossible d'extraire pratiquement. Les 60 p. 100 restant ne sont que partiellement retirés par les forages, même lors-

qu'on emploie une méthode complémentaire quelconque. L'ouverture d'une galerie au travers du gisement offre à l'huile une surface d'afflux considérable et permet une extraction plus complète que par n'importe quel autre procédé.

L'huile suinte sur le front de taille et sur les parois de la galerie. Le niveau de suintement baisse au fur et à mesure de l'avancement. Ces suintements sont dus à la gravité en même temps qu'à la pression gazeuse.

L'exploitation par galeries n'est possible que lorsque la pression gazeuse est très faible ; autrement il y aurait de grands risques d'envahissement par le gaz, le sable et l'huile.

La nature du sable pétrolifère est tout à fait différente de ce que l'on peut imaginer. Sa consistance est analogue à celle d'une marne, sa couleur est noirâtre et l'huile s'en écoule lentement par suintement.

Une galerie destinée à recueillir l'huile d'une lentille pétrolifère sera creusée en contre-bas de façon à drainer l'amont pendage.

Les galeries ne doivent pas être trop sinueuses afin de laisser passage aux wagonnets chargés de déblais que l'on remonte au jour.

Lorsque le gisement est très développé, on le draine par plusieurs galeries dont la distance varie avec la puissance de la formation, la porosité de la couche et la fluidité de l'huile.

L'aération de ces galeries de drainage nécessite la présence d'au moins deux galeries parallèles pour avoir un circuit d'air. Celles-ci sont réunies de distance en distance par des recoupées que l'on ferme par des portes ou que l'on remblaye au fur et à mesure de l'avancement.

Un ensemble de galeries forme un quartier. Chacun est isolable au moyen de solides portes afin de diminuer l'importance des accidents en les localisant.

Les quartiers correspondent avec deux puits, entrée et sortie d'air.

Le sable extrait, provenant du dépillage des galeries, est amoncelé à l'extérieur et l'huile suinte encore à la base du tas.

L'attaque se fait au marteau pneumatique, le pic est dangereux à cause des étincelles qu'il peut produire par rencontre d'un rognon pyriteux.

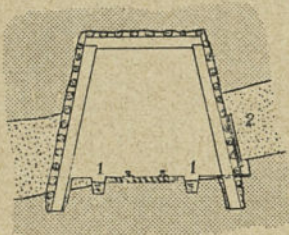


Fig. 18. — COUPE D'UNE GALERIE D'EXPLOITATION.

1, rigoles. — 2, couche de sable pétrolifère.

Les galeries sont boisées et munies de rigoles ou de puisards où l'huile se rassemble. De là, elle est collectée et pompée au sol (fig. 18).

L'éclairage se fait au moyen de lampes électriques portatives spéciales. La force motrice est uniquement produite par l'air comprimé.

L'aérage des travaux d'attaque se fait au moyen de ventilateurs envoyant par des canars l'air puisé dans une galerie.

Afin d'éviter la rencontre d'une lentille à haute pression de gaz, ce qui aurait pour résultat de noyer le chantier par un mélange d'huile et de sable, les fronts de taille sont sondés à la barre à mine en plusieurs endroits.

Les dangers que présentent ces travaux sont l'incendie, l'explosion et l'asphyxie. Un mélange air et hydrocarbure est asphyxiant avant d'être explosif. Le véritable danger est l'incendie. Facilement évitable à son début, il devient presque impossible à combattre lorsqu'il a pris de grandes



proportions. Il ne reste alors plus qu'à abandonner le quartier, fermer les portes, envoyer des jets de gaz inertes ou de vapeur d'eau et... attendre l'explosion.

A Péchelbronn, l'exploitation par puits et galeries fut pratiquée jusqu'en 1888. Elle fut détrônée ensuite par les sondages. Elle a repris en 1917 et n'a donné depuis ce temps que d'excellents résultats.

## CHAPITRE IV

### EMMAGASINAGE ET TRANSPORT

---

Le pétrole, à sa sortie des puits, est emmagasiné dans des réservoirs, puis dirigé par pipe-lines, wagons-citernes ou bateaux-citernes, sur les raffineries où, à l'arrivée, il est, à nouveau, mis en réservoir, afin d'assurer un certain volant à l'usine. En cours de traitement, il est parfois nécessaire de le stocker. La manutention des produits se fait à l'intérieur de la raffinerie au moyen de canalisations. A la sortie du raffinage, les divers produits obtenus sont, en attendant la vente, mis en réserve. De l'usine au consommateur, ils sont transportés à nouveau par pipe-lines, wagons ou bateaux et emmagasinés dans des réservoirs de plus en plus petits au fur et à mesure que le consommateur est moins loin.

Les produits pétrolifères sont vendus au consommateur dans des fûts en fer ou en bois, — ces derniers réservés aux produits moyens et lourds, — pour les quantités assez importantes. Les petits volumes sont contenus dans des bidons en fer-blanc. L'essence est parfois vendue directement à la sortie de réservoirs de faible capacité ( $1 \text{ m}^3$ ) : ce sont les pompes très répandues sur les routes.

#### *RÉSERVOIRS OU TANKS*

La capacité des réservoirs est extrêmement variable, elle va de  $1 \text{ m}^3$  à  $10\,000$ . Ils sont, en général, de forme

cylindrique, constitués par un assemblage de viroles en tôles d'acier rivées. La hauteur maxima est de 12 m et le diamètre de 35. Lorsque la capacité est assez importante, ils sont placés au milieu d'une cuvette creusée dans le sol ou formée par des murs de terre ou de pierre, pouvant retenir le contenu dans le cas d'une rupture. Les règlements français prescrivent ces mesures de sécurité qui sont, du reste, un peu illusoires.

Les tanks sont placés sur une assise cimentée recouverte de sable. Cette assise doit être supportée par un sol résistant ou, dans le cas d'un sol meuble, soit par des pieux enfoncés à refus, soit par des piliers reposant sur le sol consistant.

Le montage des réservoirs se fait en assemblant le fond, les viroles et le toit. Ce dernier doit être peu résistant de façon à ce que, s'il se produit une explosion, il soit seul arraché. Il est soutenu par des fermes métalliques. Il ne doit pas être hermétiquement fermé afin d'éviter sa rupture lors des chargements, déchargements et respiration du bac par suite des différences de température entre le jour et la nuit.

L'épaisseur des tôles de chaque virole diminue de bas en haut, au fur et à mesure que la pression exercée est plus faible. Afin d'assurer une grande étanchéité, le rivetage se fait sur deux rangs.

Les tanks doivent être munis de nombreux accessoires. La tuyauterie d'arrivée, en acier, est placée au bas du bac de façon à éviter les brassages avec l'air. Elle doit être commandée par une vanne et munie d'un clapet de retenue. La tuyauterie de sortie, en acier, est également placée au bas du réservoir, mais il est bon de la munir d'une genouillère qui permet de prélever le liquide dans les couches supérieures parfaitement décantées ; cette tuyauterie est également munie d'une vanne et d'un clapet de retenue. L'arrivée et le départ peuvent aboutir à une seule tubulure, les accidents par rupture de vannes sont ainsi moins à redouter.

Les bacs doivent être munis de trous d'homme permettant la visite et le nettoyage. Un trou doit se trouver au bas et un autre au sommet de façon à établir une bonne ventilation avant visite.

La toiture doit être percée d'ouvertures assurant la respiration du bac, ces ouvertures sont pourvues de deux soupapes s'ouvrant l'une de l'intérieur à l'extérieur, l'autre de l'extérieur à l'intérieur.



lorsque les pressions ou dépressions dépassent certaines limites. Ces soupapes évitent, dans une certaine mesure, les pertes par air carburé. Dans le cas de produits peu volatils, elles sont inutiles et les bacs peuvent être munis d'ouvertures permanentes abritées des intempéries.

Un dispositif de mesure à plongeur et à contrepoids permet de se rendre compte à chaque instant du niveau du liquide contenu, et, par suite, de sa quantité.

Lorsque le bac doit recevoir un produit très visqueux à basse température, il est absolument nécessaire de le munir d'un système de réchauffage permettant le pompage de son contenu par les temps froids.

### TRANSPORT

**Pipe-lines.** — Le transport des huiles minérales est très aisé lorsqu'on emploie des canalisations, les *pipe-lines* ; néanmoins ce procédé présente certaines difficultés : l'aspiration des produits volatils peut entraîner une distillation ; le refoulement de produits visqueux nécessite des puissances considérables ; l'hiver, certaines huiles peuvent atteindre une consistance arrêtant toute marche, à moins de les réchauffer de temps en temps.

La circulation de l'huile dans une tuyauterie n'est pas uniquement fonction de la viscosité. L'écoulement en système Venturi crée des pertes de charge par ses tourbillons. La nature des parois, leur état de propreté interviennent également.

Pour un tuyau circulaire, la perte en charge est approximativement :

$$h = LQ^2 \left( \frac{\alpha}{D^5} + \frac{\beta}{D^6} \right) Z^2$$

(*h* : perte en charge. — *L* : longueur du tube en mètres. — *Q* : débit en litres. — *D* : diamètre du tuyau. — *Z* : viscosité Engler. —  $\alpha$  et  $\beta$  : coefficients variables avec la nature des parois).

	$\alpha$	$\beta$
Tuyaux neufs.....	0,001643	0,0000419
Tuyaux corrodés.....	0,003286	0,0000839

Il faut tenir compte des coudes, des passages de vannes et des communications avec des récipients de plus grand diamètre. La résistance est exprimée en diamètres de canalisation.

Coudes arrondis .....	4 à 6 diamètres du pipe.		
Coudes vifs .....	30 à 40	—	—
Entrée et sortie de conduite .	16 à 40	—	—
Vanne ouverte à moitié .....	100	—	—

Les pipe-lines sont constitués par des tuyaux d'acier réunis par des pas de vis coniques ou des brides. Ils sont posés au fond d'une fouille et reposent sur un lit de sable, puis ils sont recouverts. Ils sont essayés par tronçons. L'épaisseur des parois diminue au fur et à mesure que la pression baisse, c'est-à-dire que l'on s'éloigne de la station de pompage. Le passage des routes et voies ferrées se fait dans des buses en ciment, celui des cours d'eau sur des passerelles.

Des pompes assurent la circulation de l'huile dans les pipes. Celles qui donnent les résultats les plus satisfaisants sont les pompes alternatives et les pompes rotatives. Les premières sont commandées directement par la vapeur ou, avec interposition de réducteurs de vitesse, par des moteurs électriques ou à combustion. Les secondes peuvent être accouplées directement à tous les moteurs.

Lorsque la perte en charge d'un pipe-line est supérieure à la pression fournie par la pompe, on interpose des stations de pompage. Lorsque les pays traversés sont sujets à des hivers rigoureux, ces stations intermédiaires sont munies de dispositifs de réchauffage. La distance entre les stations varie avec le climat et l'allure de la canalisation, un pays accidenté comportant des stations plus rapprochées.

**Wagons-citernes.** — Ce sont des wagons sur le châssis desquels est placée une citerne d'une contenance variant entre 10 et 40 tonnes. Un dôme d'expansion permet la dilatation du liquide, des tubulures, l'entrée et la sortie des produits. Pour le transport des produits visqueux les wagons-citernes sont munis de dispositifs de réchauffage.

**Camions-citernes.** — Des châssis ordinaires de camions supportent une citerne analogue à celle des wagons, mais de capacité moindre.

**Bateaux-citernes.** — Lorsque le transport des produits pétrolifères nécessite la voie maritime, on utilise des bateaux spéciaux dont les cales sont des citernes. Ces bateaux ont un aspect tout à fait particulier, car, pour des raisons de sécurité, la machinerie est reportée vers l'arrière. Leur capacité varie entre 500 et 10 000 tonnes. Les divers réservoirs sont munis de chambres d'expansion, *summer tanks*, et communiquent par des canalisations avec une station de pompage généralement placée au centre du bateau. Les divers tanks sont pourvus de dispositifs de réchauffage, utiles lorsque la température est basse et le produit visqueux.

Les bateaux-citernes sont actionnés par des machines à vapeur commandées par des chaudières à mazout dans la majorité des cas. Actuellement, une certaine tendance se dessine vers les bateaux pétroléoélectriques. Des diesels accouplés à des dynamos fournissent le courant à un moteur commandant l'hélice et aux divers appareils accessoires (pompes, cabestan, etc.). Une chaudière auxiliaire assure le réchauffage des produits.

Le débarquement des produits pétrolifères est rigoureusement réglementé. Les navires sont divisés en trois classes suivant les produits transportés. La première classe comprend les bateaux chargés d'essence et la manutention ne peut se faire qu'en des bassins spécialement désignés, en aval des autres. Les bateaux



doivent être entourés d'un barrage arrêtant une couche de pétrole haute de 10 cm. Les feux ne peuvent être maintenus que sous certaines conditions.

**Chalands-citernes.** — Les transports fluviaux se font sur des chalands munis de citernes, de capacité variant avec les rivières et les canaux à parcourir.

Les citernes sont parfois indépendantes de la coque, ou sont constituées par la coque elle-même. Ici aussi sont prévues des chambres d'expansion.

Les chalands automoteurs ne peuvent être actionnés que par des moteurs Diesel. Le déchargement des chalands d'essence nécessite les mêmes précautions que celui des navires de première classe.

**Comparaison entre les divers modes de transport.** — Lorsqu'on veut transporter, avec le minimum de frais, un produit pétrolifère d'un endroit à un autre, on doit choisir judicieusement le moyen le moins onéreux. Les transports maritimes sont les moins coûteux et devront toujours être utilisés dans les cas possibles. Les transports par pipe-lines sont peu onéreux lorsque ce trafic est important. Pour être économique, la canalisation doit débiter au maximum. Dans le cas de trafic moyen, on ne peut utiliser que le camion, le wagon et le chaland. Jusqu'à 50 km, le premier procédé est le plus avantageux ; entre 50 et 500 km, on a intérêt à employer le chaland, si cela est possible ; pour les distances plus considérables, le wagon n'a pas de concurrent.

---

## CHAPITRE V

### RAFFINAGE

---

Le raffinage a pour objet de transformer l'huile minérale brute en produits utilisables et d'éliminer de ces produits les substances qui en rendent difficiles l'emploi et le commerce, composés oxygénés, sulfurés, azotés, carbures polyéthylés. Le raffinage s'opère par distillation et par traitement chimique et physique dans de puissantes usines.

Ces raffineries se trouvent rarement près des lieux d'exploitation, mais le plus souvent à proximité des lieux de consommation ou des grandes voies de communication. Elles doivent disposer de quantités d'eau considérables pour l'alimentation des générateurs de vapeur et des appareils de réfrigération et pour les lavages. Il faut compter entre 15 et 20 tonnes d'eau pour le traitement complet d'une tonne de matière première lorsque la température de l'eau est de 10 à 15°. Bien entendu, il est possible de récupérer tout ou partie de cette eau.

La vapeur doit être fournie par une station centrale et non par des générateurs éparpillés. Les conduites sont aériennes de façon à déceler toute fuite et à y remédier rapidement.

Il en est de même pour les canalisations d'air et d'huile. On a intérêt à produire la force motrice par l'électricité.

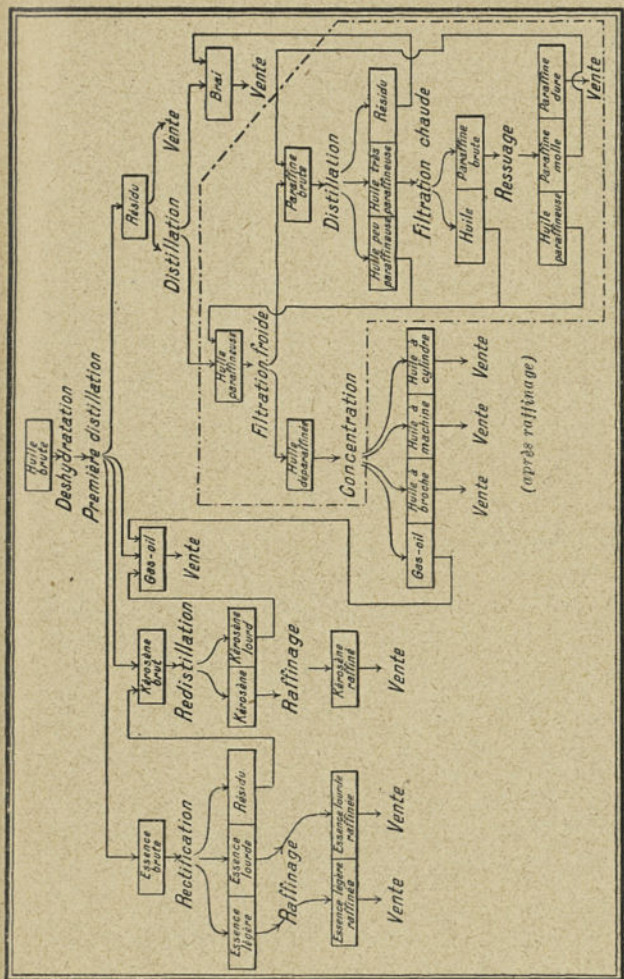


Planche I. — MARCHÉ DES PRODUITS DANS UNE RAFFINERIE. La partie comprise dans les lignes pointillées est facultative dans le cas d'huiles non paraffineuses.



L'emploi de moteurs blindés s'impose afin d'éviter les explosions par les étincelles.

Les produits retirés du pétrole brut sont :

- l'éther de pétrole distillant avant 60°;
  - l'essence distillant avant 200°;
  - le kérosène ou pétrole lampant, distillant avant 290°;
  - le gas oil distillant avant 350°;
  - le fuel oil, résidu ou mazout distillant au-dessus de 350°;
- dont on retire :
- les huiles de graissage : à broche, à machine, à cylindre ;
  - la paraffine ;
  - le brai de pétrole ;
  - le coke de pétrole.

La marche des produits dans une raffinerie peut être schématisée comme suit (planche I).

### PRODUITS BLANCS

**Déshydratation de l'huile brute.** — A l'arrivée à l'usine, l'huile contient des quantités d'eau parfois considérables qui, souvent, se trouvent sous forme d'émulsion par suite de la présence de sable et de substances oxygénées. La présence de l'eau rend la distillation presque impossible et produit des incrustations et des corrosions dans les chaudières à cause des sels qu'elle contient. Il est donc nécessaire de l'éliminer. Cette élimination est très délicate lorsque l'eau se trouve émulsionnée.

**Décantation.** — Le repos amène souvent la séparation de l'eau par suite de la différence de sa densité avec celle de l'huile. Entre les deux couches, eau et huile, se rencontre une troisième couche émulsionnée, le B. S., *bottom settling*, dont la résolution est difficile.

La décantation est activée par élévation de la température. Le chauffage est effectué par circulation de vapeur à l'intérieur

de serpentins immergés dans l'huile à sécher. La vapeur peut provenir économiquement de l'échappement des machines.

La séparation dans l'huile émulsionnée est grandement facilitée lorsqu'on mélange des substances qui tendent à rompre l'émulsion, telles que le NaCl ou le  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , par action sur la pellicule, le NaOH par neutralisation des acides pétroliques, les savons de soude, les gommés ou les acides organiques sulfurés par suite de leur tendance à créer des émulsions hydrophiles (l'émulsion huile-eau est hydrophobe), les acides minéraux par leur charge électrique.

**Centrifugation.** — La séparation est bien plus énergique lorsque, au lieu de soumettre l'huile à la pesanteur, on la soumet à une force dix mille fois plus grande à l'intérieur d'une supercentrifugeuse (fig. 19).

L'huile arrive au bas d'un bol cylindrique. L'eau et le B. S., projetés par la force centrifuge sur les parois, sortent à la partie supérieure par une goulotte. L'huile séchée sort par une autre goulotte. Le bol est entraîné par un moteur électrique démultiplié ou par une turbine à air. Une centrifugeuse à bol d'une longueur de 70 cm et d'un diamètre intérieur de 11 cm traite 1 500 litres à l'heure.



Fig. 19. — SUPERCENTRIFUGEUSE SHARPLES.

**Filtration.** — La filtration au travers d'une couche poreuse composée de substances très fines, amène la séparation huile-eau. Cette opération s'effectue au filtre-presses.

**Distillation.** — L'huile émulsionnée chauffée par passage dans un échangeur de température, laisse déposer une partie de son eau, puis circule à l'intérieur d'un serpen-

tin chauffé à 200° où les parties légères et l'eau se vaporisent. A la sortie, on recueille l'huile sèche.

**Emploi d'un champ électrique.** — L'huile émulsionnée placée dans un champ électrique se sépare en ses deux constituants.

L'appareil Cottrell comporte un cylindre en tôle, formant l'une des électrodes, et un arbre vertical muni d'une série de disques, placé suivant l'axe du cylindre et animé d'un mouvement lent de rotation, constituant l'autre électrode. L'huile à traiter arrive par la partie supérieure et on recueille à la sortie d'un séparateur placé sous le Cottrell l'huile sèche et l'eau. On applique entre les deux électrodes une différence de potentiel alternatif de 10 000 volts. Un appareil de 1 mètre sur 3 permet de traiter une centaine de tonnes d'huile à 40 p. 100 d'eau en vingt-quatre heures.

#### DISTILLATION DU PÉTROLE BRUT

Après déshydratation, le pétrole brut est distillé afin d'effectuer le fractionnement en essence, kérosène, gas oil et mazout. Ce dernier est le résidu de l'opération. L'essence et le kérosène constituent les produits blancs.

Cette séparation s'effectue par distillation fractionnée ou condensation fractionnée. Le second procédé, assez récent, donne des produits suffisamment finis pour n'avoir à subir qu'un traitement chimique avant livraison au commerce.

**Distillation fractionnée.** — La distillation fractionnée s'opère de façon discontinue ou continue.

Dans le procédé discontinu, l'huile placée dans une chaudière est distillée jusqu'au gas oil. L'opération terminée, on décharge le résidu, on recharge la chaudière avec du pétrole brut et on recommence une nouvelle distillation.



Dans le procédé continu, le pétrole circule dans une batterie de chaudières disposées en cascade, chauffées à des températures croissant de l'une à l'autre. Il abandonne les parties les plus volatiles dans la première, puis, passant dans la seconde, il laisse une autre fraction de produits, et ainsi de suite jusqu'à la dernière d'où s'écoule le résidu.

*Procédé discontinu* (fig. 20). — La chaudière la plus employée est horizontale et à tubes-foyers, de façon à ce que la

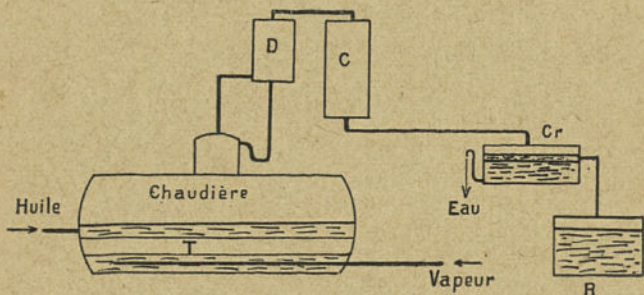


Fig. 20. — DISTILLATION DISCONTINUE.

D, déphlegmateur. — C, Condenseur. — Cr, Caisse de réception. — R, Réservoir. — T, Tube-foyer.

chaleur n'ait à traverser qu'une faible épaisseur d'huile. Des tuyaux perforés sont placés dans son fond et autour des tubes-foyers pour injecter de la vapeur, ce qui diminue les températures de distillation et évite par le barbotage les décompositions pyrogénées. La chaudière est munie de tubulures pour l'amenée du pétrole brut et pour la vidange des résidus. Elle comporte, en outre, une soupape de sûreté, un ou plusieurs trous d'homme pour les visites et le nettoyage, un thermomètre et un niveau.

La capacité de ces chaudières peut atteindre une centaine de tonnes. Elles sont construites en tôles assemblées par rivetage.

Le chauffage s'effectue en brûlant de la houille, du mazout, du gaz naturel ou les résidus de raffinage. Il faut compter de

100 à 120 kg de houille et de 65 à 80 kg de mazout par tonne d'huile distillée lorsqu'il ne reste que 50 p. 100 de résidu. Dans ces chiffres, sont comptés le combustible nécessaire à la distillation et celui correspondant à la vapeur injectée.

Les vapeurs se rassemblent dans un dôme surmontant la chaudière, puis passent dans un déphlegmateur, cylindre muni de plateaux perforés, qu'elles traversent en abandonnant leurs parties les moins volatiles.

A la sortie du déphlegmateur, les vapeurs vont se condenser par circulation dans un condenseur composé de tubes plongés dans un récipient parcouru par un courant d'eau.

Les distillats passent ensuite à la station de réception où, en

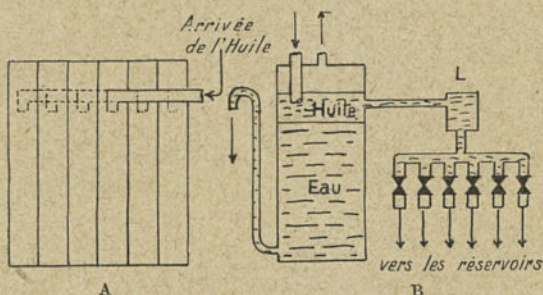


Fig. 21. — CAISSES DE RÉCEPTION.  
Ouvverte (plan A). — Fermée (profil B) (L. Lanterne).

coiffant le tube de dégagement par des rallonges de longueurs diverses, on dirige, suivant sa densité, l'huile condensée dans l'un ou l'autre des différents compartiments de la boîte de réception d'où ils s'écoulent dans des réservoirs. L'eau provenant de la vapeur d'injection se sépare par décantation dans la boîte de réception et est soutirée par siphonnage. Pour éviter les évaporations, on peut utiliser un séparateur clos qui permet de diriger, par un jeu de robinets, les distillats sur l'un ou l'autre des récipients. On recueille aussi les gaz difficilement condensables et fixes (fig. 21).

Le résidu soutiré après distillation est refroidi avant d'être stocké.

Plusieurs chaudières sont disposées l'une à côté de l'autre et aboutissent toutes à la même station de réception.

La distillation dure une quinzaine d'heures et est arrêtée lorsque la densité du distillat dépasse celle admise pour le gas oil. Au fur et à mesure de l'élévation de la température, on injecte de plus en plus de vapeur d'eau. Les densités-limites du fractionnement sont fonction du brut traité et sont indiquées par le laboratoire.

*Procédé continu* (fig. 22). — Dans ce procédé, on utilise les mêmes appareils que dans le procédé discontinu. L'huile

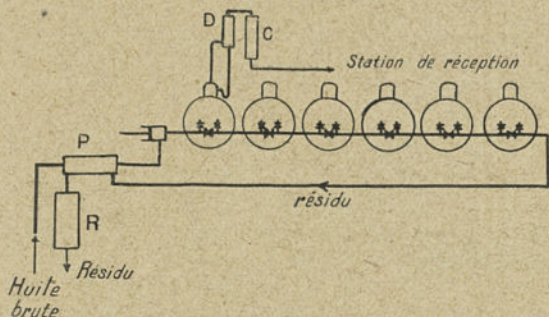


Fig. 22. — DISTILLATION CONTINUE.

D, déphlegmateur. — C, Condenseur. — P, préchauffeur. — R, Réfrigérant.

brute passe d'abord dans un préchauffeur, — réservoir muni de serpentins dans lesquels circulent à contre-courant les résidus issus de la dernière chaudière, — et pénètre dans la première chaudière à une température d'environ 100°. Une batterie continue comporte de quatre à seize chaudières — le plus souvent dix — communiquant entre elles par une canalisation pourvue de robinets, ce qui permet de court-circuiter une chaudière afin de la visiter, de la nettoyer ou de la réparer. Un niveau en verre ou à contrepoids permet de se rendre compte du fonctionnement.

La température et l'injection de vapeur restent fixes pour chaque chaudière. Elles ne nécessitent que de légers réglages au cours d'une opération, mais doivent être complètement changées lorsqu'on traite un produit de caractéristiques différentes.



Chaque chaudière comporte un déphlegmateur et un réfrigérant, d'où les produits condensés se rendent à la station de réception.

Le fractionnement ne donnant que trois produits, on mélange les distillats des chaudières de tête (essence), de milieu (kérosène) et de queue (gas oil).

L'avantage de ce procédé est de ne donner de dépôts que dans la dernière chaudière, de faire des économies de combustibles — environ 20 p. 100, — et de ne pas faire jouer les tôles des chaudières en les soumettant à des températures variables.

**Condensation fractionnée. — Procédé Trumble (fig. 23).** — L'huile brute, après avoir traversé un préchauffeur, circule dans un serpentin où elle s'échauffe. Ce serpentin constitué par

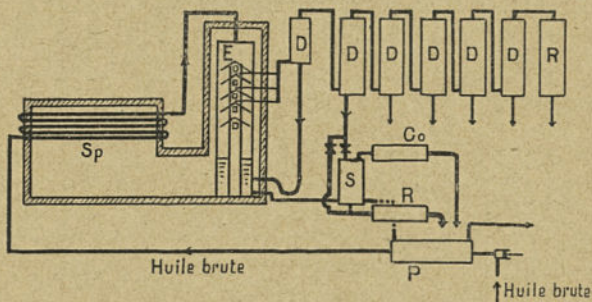


Fig. 23. — DISTILLATION TRUMBLE.

Sp, Serpentin. — E, évaporateur. — D, déphlegmateurs. — R, réfrigérants. — S, séparateur. — P, préchauffeur. — Co, condenseur.

(Il n'est représenté, ici, le séparateur et un des condenseurs adjoints que pour un seul des déphlegmateurs).

des tuyaux réunis par des coudes, est placé dans deux chambres superposées. Les gaz chauds pénètrent d'abord dans la chambre supérieure, puis dans la seconde. L'huile circule de bas en haut dans le serpentin dont la longueur est de 450 m et la capacité de traitement journalière est de 1 500 tonnes.

A la sortie du serpentin, l'huile est pompée au sommet d'un

évaporateur dans lequel se dégagent les parties volatiles. La partie non vaporisée se rassemble au bas de l'appareil et est traversée par un courant de vapeur qui entraîne les dernières portions volatilissables, puis, après soutirage, passe dans une série de séparateurs et dans le préchauffeur. L'évaporateur est un cylindre d'acier de 8 m sur 2, à l'intérieur duquel se trouvent cinq cônes de dispersion, de diamètre légèrement inférieur à celui du cylindre, sur lesquels ruissellent les filets d'huile. Ces cônes sont supportés par un large tuyau qui sert à évacuer les vapeurs. L'appareil, placé dans une chambre en brique, est chauffé par circulation des gaz du foyer après que ceux-ci ont communiqué une partie de leurs calories au serpentín.

Les vapeurs pénètrent ensuite dans une batterie de déphlegmateurs montés en cascade. Dans chacun d'eux, se condense une partie des vapeurs, le gas oil dans le premier et l'essence dans le dernier. Les parties non arrêtées dans cette dernière colonne sont liquéfiées par passage dans un condenseur.

Les liquides qui s'écoulent au bas des déphlegmateurs sont redistillés dans un séparateur, — cuve rectangulaire d'environ 6 m de long sur 2 de large et 1 de hauteur, séparée en six compartiments, — que chauffe une circulation d'huile ou de résidus. Les trois premiers compartiments fournissent un distillat plus léger que les trois autres. Il est possible, par des jeux de robinets, de court-circuiter les séparateurs et d'avoir directement le distillat à la sortie de la colonne.

L'opération ne s'effectue pas suivant la densité, mais suivant la température. On maintient à température constante et l'huile à son arrivée à l'évaporateur, et chaque colonne de fractionnement. Le réglage de la température s'effectue par réglage des feux et de la vitesse de l'huile.

Cette méthode présente de nombreux avantages. L'huile n'est soumise au chauffage que par faibles quantités, d'où diminution des risques d'incendie. Elle est bien moins exposée aux décompositions pyrogénées. Les dépôts de charbon résultant de cette décomposition sont entraînés par sa circulation. Enfin la quantité de combustible est inférieure de 50 p. 100 à celle nécessaire dans le procédé de distillation fractionnée continu. Les produits obtenus n'ont pas besoin d'être redistillés avant raffinage.

*Procédé par colonne à plateaux (fig. 24).* — Dans ce procédé, le plus employé dans les raffineries modernes, l'huile brute se préchauffe par passage dans une série de préchauffeurs, traversés à contre-courant par les produits fractionnés (essence, pétrole.

gas-oil, fuel-oil). Elle pénètre alors dans un serpentin de grande longueur (500 m) disposé dans un four. La température s'y élève aux environs de 300°. A la suite du serpentin se trouve une colonne à plateaux, où a lieu le fractionnement. On retire les fractions les plus légères, sous forme de vapeur, de la partie supérieure de la colonne. Les autres fractions sont soutirées, à l'état liquide, des divers plateaux au moyen de pompes rotatives. Les distillats sont d'autant plus lourds qu'ils sont retirés de plateaux plus près de la base de la colonne. Les produits ainsi

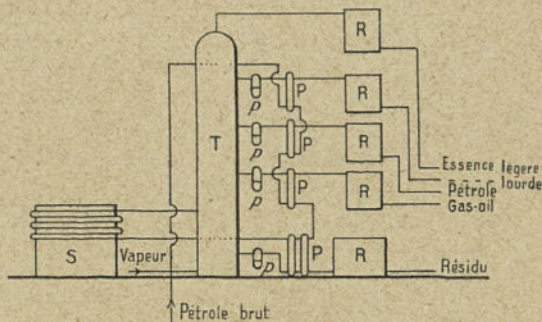


Fig. 24. — DISTILLATION AVEC COLONNE A PLATEAU.

S, Serpentin. — p, pompes. — P, préchauffeurs. — R, réfrigérants. — T, tour.

obtenus traversent les préchauffeurs, des réfrigérants et arrivent à la salle de réception.

Pour augmenter l'efficacité de la colonne, on reflue, à sa partie supérieure, une partie de l'essence obtenue et on injecte à la base de la vapeur d'eau surchauffée.

La distillation se fait suivant la température des produits dans les divers plateaux et suivant la densité et la courbe de distillation des distillats obtenus. La marche de la batterie est entièrement sous le contrôle d'appareils automatiques (thermomètres, régulateurs de niveau, régulateurs d'écoulement) réduisant la main-d'œuvre au minimum après réglage de l'installation pour une huile brute déterminée.

Une telle installation présente les mêmes avantages que la



précédente mais, de plus, une bien plus grande simplicité de construction et de marche.

#### REDISTILLATION DES PRODUITS BLANCS

Afin de faciliter le raffinage et de donner des produits plus finis, l'essence et le kérosène sont redistillés. Le gas oil, dont l'emploi dans les diesels ou en cracking ne nécessite pas des produits bien finis, est livré tel quel, sans redistillation ni raffinage.

Les produits provenant de la distillation par les procédés Trumble et à colonne sont, comme nous l'avons indiqué, raffinés directement.

**Redistillation de l'essence.** — Cette opération se fait dans une chaudière horizontale chauffée par de la vapeur surchauffée. On n'injecte de la vapeur que pour l'essence lourde.

La chaudière est surmontée d'une colonne de rectification à plateau, à double paroi, permettant un refroidissement par eau. Les vapeurs, au sortir de la colonne, traversent un déphlegmateur, puis un condenseur.

La distillation opère la séparation en essence légère et en essence lourde. Elle est conduite suivant la densité. Parfois on extrait une troisième fraction, le *White spirit*. Le résidu de la redistillation est mélangé au kérosène brut.

La redistillation peut également s'effectuer en opération continue dans une batterie de chaudières en cascade dont le fonctionnement est analogue à celui des appareils de première distillation. Le seul avantage est d'obtenir un grand nombre de fractions.

**Redistillation du kérosène.** — Cette opération s'effectue de façon discontinue ou continue dans des chaudières chauffées directement et à injection de vapeur, comme dans la distillation du brut. Les distillats sont mélangés,

Le résidu de la redistillation du kérosène brut n'est guère utilisable que pour le cracking.

Il est parfois inutile de redistiller le kérosène.

#### RAFFINAGE DES PRODUITS BLANCS

Le raffinage a pour but d'éliminer de l'essence et du kérosène les corps nuisibles par leur odeur, par leur couleur ou par les produits auxquels ils donnent naissance au cours de l'emploi. Il enlève aussi les carbures non saturés et les composés oxygénés, sulfurés et azotés. Il comprend des lavages à l'acide sulfurique, à la soude et à

l'eau. Parfois il s'effectue selon des procédés différents. Il est toujours accompagné du départ de produits utilisables. Les pertes sont d'environ 1 p. 100 pour l'essence et 3 p. 100 pour le kérosène.

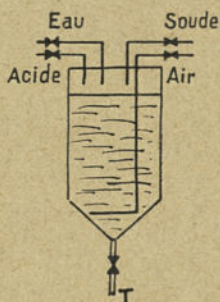


Fig. 25. — AGITATEUR.

Le raffinage se fait dans des agitateurs ou malaxeurs cylindriques, munis de fonds coniques, en tôle revêtue de plomb, de capacité comprise entre 20 et 800 tonnes (fig. 24). Ces appareils comportent des tubulures pour l'arrivée et la sortie de l'huile, l'introduction de l'acide, de la soude, de l'eau et de l'air de brassage. L'acide et la soude sont contenus dans des boîtes de mesure surplombant le malaxeur. Ils sont élevés au moyen de monte-jus. Le fond du malaxeur est pourvu d'une vanne permettant l'élimination des résidus. Les produits de lavage sont intimement mêlés à l'huile par malaxage, au moyen d'un arbre vertical muni de palettes ou, le plus souvent, par

barbotage d'un courant d'air. Malheureusement, dans ce dernier cas, il y a des pertes, importantes pour l'essence, un peu moindres pour le kérosène, par suite de l'évaporation.

Le malaxage peut être également effectué par pompage de bas en haut des substances à mélanger.

*Traitement acide.* — L'huile est d'abord traitée en trois fois par 2 p. 100 de son poids en acide sulfurique à 66° B. Le premier traitement à 0,5 p. 100 élimine surtout l'eau contenue dans l'huile, chaque opération dure d'une demi-heure à une heure et est suivie de la séparation des boues vitrioliques — boues liquides — formées. La température ne doit pas trop s'élever et, dans les pays chauds, il faut prévoir la réfrigération du produit avant raffinage.

*Traitement alcalin.* — Après traitement acide, l'huile est lavée plusieurs fois à l'eau, puis deux ou trois fois, pendant dix minutes, avec une lessive de soude à 5° B, jusqu'à ce que le jus soutiré soit alcalin à la phénol-phtaléine. Le brassage ne doit pas être trop long afin d'éviter la formation d'émulsions, du reste assez peu stables.

Le traitement alcalin peut être suivi de lavages à l'eau. L'huile retirée du malaxeur est mise à chauffer dans des bacs afin de décanter les gouttelettes d'eau qu'elle tient en suspension. Cette clarification est favorisée par une élévation de température, mais en aucun cas il ne faut dépasser une trentaine de degrés.

Les résidus acides et alcalins sont stockés dans des bassins.

**Raffinage continu de l'essence.** — Le raffinage de l'essence peut également s'effectuer dans une suite de récipients cylindriques traversés de bas en haut par l'essence. Le premier sert à la décantation de l'eau ; le second et le troisième, munis de plaques perforées, au traitement acide, — l'acide sulfurique chemine en sens inverse de l'essence. Les quatrième et cinquième sont destinés à la séparation des boues acides ; le sixième au lavage à l'eau, les septième et huitième à la décantation de l'eau ; le neuvième, muni de plaques perforées, au traitement alca-



lin et le dixième à la décantation des résidus du précédent traitement.

**Raffinage par  $\text{SO}_2$  du kérosène. — Procédé Edeleanu.**  
Le lampant, parfaitement desséché par filtration au travers de sel marin, est refroidi à  $-10^\circ$  par passage dans un échangeur de température et dans un réfrigérant ; puis il pénètre dans une cuve dans laquelle est injecté de

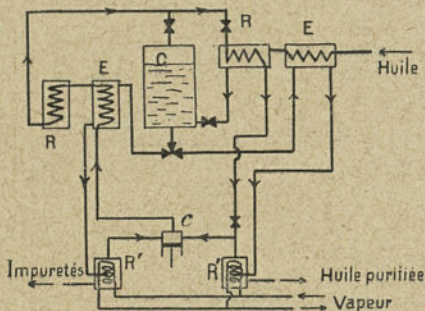


Fig. 26. — RAFFINAGE EDELEANU.

E, échangeur. — R, réfrigérant. — C, cuve. — c, compresseur.  
— R', réchauffeurs.

l'acide sulfureux liquide. Le liquide de la cuve se sépare en deux couches, celle du haut constituée par du kérosène purifié contenant en dissolution du  $\text{SO}_2$ , et celle du bas constituée par de l'acide sulfureux tenant en solution des impuretés et carbures non saturés. Les liquides des deux couches, pompés séparément, traversent les échangeurs de température et sont réchauffés. L'acide sulfureux qui se dégage alors est récupéré. La perte de  $\text{SO}_2$  est d'environ 0,5 p. 100.

**Raffinage des distillats sulfureux.** — Dans le cas de distillats très sulfureux, le traitement acide est précédé d'un traitement au plombite de sodium, obtenu par action de la soude sur la litharge (voir p. 16).

On peut également raffiner les produits sulfureux par des solutions d'hypochlorite de sodium, faisant précéder et suivre l'opération de traitements alcalins.

## HUILES DE GRAISSAGE

### DISTILLATION DU RÉSIDU

Le résidu de la première distillation, le mazout, constitue la matière première de la fabrication des huiles de graissage. Les résidus peu asphaltiques ou paraffineux sont seuls utilisés, les résidus asphaltiques donnant des huiles difficiles à raffiner sont inutilisables.

Les produits obtenus par cette distillation sont du gas oil, de l'huile à broche, de l'huile à machine et de l'huile à cylindre. Il reste alors du brai dans la chaudière.

La conduite de la première distillation joue un grand rôle dans la qualité des huiles obtenues. Le résidu d'une distillation brutale ne donnera que de mauvaises huiles.

Afin d'éviter la décomposition plus ou moins profonde des produits constituant le résidu, par suite de la haute température nécessaire à leur distillation, celle-ci s'opère sous un vide élevé — 60 mm de mercure — et avec injection de vapeur surchauffée, ou sous un vide poussé — 5 mm de mercure. Dans ce dernier cas, les produits obtenus sont de qualité tout à fait supérieure et ne nécessitent qu'un raffinage sommaire, mais l'appareillage est délicat et coûteux.

Outre la diminution de la température d'ébullition,

l'emploi du vide et de la vapeur soustrait rapidement les vapeurs à l'action des parties chauffantes.

**Distillation sous vide avec injection de vapeur d'eau** — Comme la première distillation, celle-ci peut s'effectuer

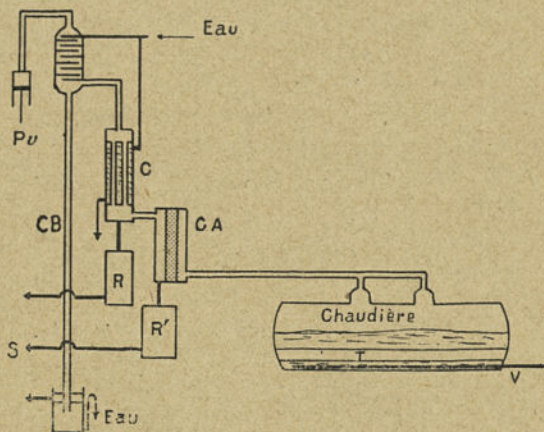


Fig. 27. — DISTILLATION SOUS VIDE.

V, vapeur. — T, tube-foyer. — CA, condenseur aérien. — C, condenseur. — RR', réfrigérants. — CB, condenseur barométrique. — Pv, pompe à vide. — S, station de réception.

de façon discontinue ou continue, d'ordinaire avec six chaudières en cascade. Le procédé continu est le plus économique. Le matériel est le même dans les deux cas, seule la marche diffère (fig. 27).

La chaudière est analogue à celles déjà décrites ; elle est munie, en plus, d'un manomètre. Une certaine déphlegmation se produit dans les dômes d'où les vapeurs se rendent dans un condenseur aérien, — cylindres verticaux entre lesquels circule l'huile, —



dans lequel s'effectue la condensation de la plus grande partie, puis dans un condenseur ordinaire, enfin dans un condenseur barométrique. Ce dernier se compose d'une chambre placée au sommet d'un tube de 10 m de long plongeant, par son extrémité inférieure, dans une cuve. La chambre, qui communique avec la pompe à vide, est munie de chicanes. Elle est traversée de bas en haut par les vapeurs de l'huile et de haut en bas par une pluie d'eau froide. Les produits condensés se rassemblent dans la cuve où l'eau se sépare.

Les distillats, au sortir des deux premiers condenseurs, sont refroidis après passage dans des préchauffeurs, si la distillation est continue. Ils doivent être extraits par pompage par suite du vide régnant dans l'appareil.

Les distillats provenant des trois condenseurs sont dirigés sur la station de réception qui peut, sans aucun inconvénient, être du type ouvert, les produits étant trop peu volatils.

L'opération est conduite comme pour la distillation du brut, avec, simplement, en plus le maintien du vide dans l'appareil. La consommation de vapeur est considérable. Dans le cas d'une marche continue, on doit injecter dans la dernière chaudière une quantité de vapeur égale à celle du distillat.

Le fractionnement s'opère ici suivant la température et la pression dans les chaudières. Dans la marche continue, on examine également le brai à la sortie de la dernière chaudière. Outre ceci, le laboratoire mesure de temps en temps la densité, l'inflammabilité et la viscosité des distillats. Tout début de décomposition est accusé par une diminution de ces propriétés. En attendant la reprise du fonctionnement normal, les produits sont dirigés vers des bacs spéciaux.

Cette distillation est accompagnée de certaines pertes sous forme de gaz qui sont extraits par la pompe à vide. La consommation de combustible est plus élevée que par distillation du brut. Elle est d'environ 300 kg de houille ou 200 de mazout par tonne de résidu traité en tenant compte de la quantité de combustible nécessaire à la vapeur d'injection et au maintien du vide.

Dans les raffineries modernes, la distillation du fuel-oil s'effectue au moyen d'un serpentín de chauffage et d'une colonne à plateaux, de façon analogue à la première distillation avec la seule différence que les fractions légères sortant à l'état de vapeur par le haut de la colonne sont condensées dans un condenseur barométrique par suite du vide régnant dans l'appareil.

Cette installation comporte vis-à-vis des unités à chaudières les mêmes avantages que pour la première distillation.

On prévoit la liaison de deux installations, le fuel-oil chaud pénétrant à sa sortie de la colonne sous pression ordinaire dans la colonne de vide, après réchauffage dans un second serpentin. L'économie de ce procédé est très intéressante.

**Concentration.** — Lorsqu'il est nécessaire de fabriquer une huile plus lourde que les distillats obtenus normalement, on concentre une huile plus légère dans des chaudières et avec un appareillage analogue au précédent. Dans une marche discontinue, le contrôle s'effectue sur des échantillons de l'huile résiduaire et dans une marche continue sur la qualité de l'huile à la sortie de la dernière chaudière.

**Distillation du brai sur coke.** — Lorsque le brai est difficile à écouler, on peut s'en débarrasser en le distillant sur coke. Cette opération se fait dans des chaudières en tôle munies d'un fond en fonte aciérée réuni par des brides au corps de la chaudière, ceci en vue de le remplacer aisément par suite de sa destruction rapide.

Cette distillation qui s'effectue à feu nu et sans vide, donne une huile de mauvaise qualité, uniquement employable comme combustible, et du coke. Ce dernier est détaché au pic des parois de la chaudière.

#### DÉPARAFFINAGE

Lorsque les huiles de graissage proviennent du pétrole brut paraffineux, elles contiennent d'assez grandes quantités de paraffine qui leur donnent des points de congélation trop élevés pour nombre d'emplois. Il est alors nécessaire d'éliminer cette paraffine.

Le déparaffinage est basé sur la séparation à froid de la paraffine par filtration ou sur la différence de solubilité de la paraffine et de l'huile dans l'essence.

**Déparaffinage par refroidissement et filtration.** — Ce procédé exige que la paraffine se sépare sous forme cristallisée et non sous forme amorphe. Cette cristallisation est d'autant plus aisée que la distillation a été accompagnée d'un léger cracking. Les diverses huiles obtenues par distillation du résidu sont mélangées et le mélange est

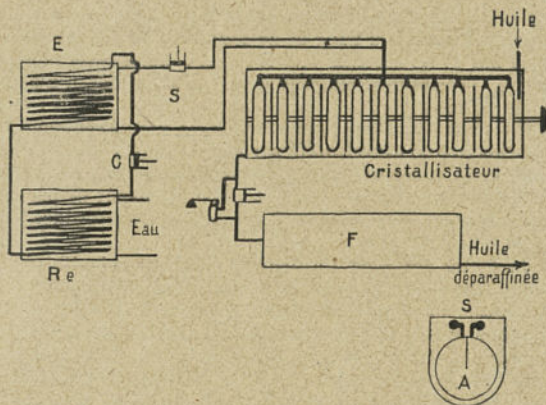


Fig. 28. — DÉPARAFFINAGE NEUMANN-PORGES.

S, saumure. — E, échangeur. — R, réfrigérant. — F, filtre-pressé.  
(En bas, coupe du cristallisateur. A, tambour.)

alors soumis au déparaffinage et redistillé ensuite. Cette opération donne encore une fraction de kérosène, des huiles à broches, des huiles moyennes et un résidu d'huile lourde.

On ne peut déparaffiner directement le résidu de la première distillation qui, contenant d'appréciables quantités d'asphalte et n'ayant pas été porté à une température suffisamment élevée, ne pourrait donner de la paraffine cristallisée. Le mélange est soigneusement déshy-



draté par chauffage et décantation ou centrifugation. Après retour à la température ordinaire, il est refroidi à  $-8^{\circ}$  dans des cristalliseurs entourés de saumure à basse température. Le refroidissement est obtenu par des machines frigorifiques à anhydride sulfureux ou à ammoniaque.

Les cristalliseurs Beilby sont formés de compartiments alternativement remplis d'huile et de saumure, les premiers évasés vers le bas et les seconds vers le haut. L'huile reste immobile pendant la cristallisation, puis est extraite au moyen d'une vis d'Archimède.

Dans le cristalliseur Neumann-Porges, l'huile contenue dans un bac horizontal est refroidie par une circulation de saumure à l'intérieur de tambours. Des palettes animées d'un mouvement lent de rotation agitent l'huile et raclent le dépôt de paraffine qui se forme sur les tambours. La paraffine est entraînée par le courant d'huile (fig. 28).

A la sortie des cristalliseurs, l'huile est refoulée par des pompes dans des filtres-presses, à une pression atteignant 8 kg. La filtration doit s'opérer à basse température ( $-8^{\circ}$ ). Les filtres sont, dans ce but, placés dans une chambre froide calorifugée. Les plateaux des filtres sont tendus avec une toile très résistante. Il est nécessaire d'avoir de grandes surfaces de filtration, 1 m<sup>2</sup> de toile ne laissant passer que 1 à 2 kg d'huile par heure. La surface de certaines presses atteint 250 m<sup>2</sup> avec plus de cent plateaux. De temps en temps, on démonte les filtres-presses, on gratte la paraffine et on remonte les appareils. Après plusieurs opérations, les toiles doivent être nettoyées.

La paraffine recueillie au bas des presses est fondue, puis envoyée par des pompes dans des bacs de stockage.

**Déparaffinage par différence de solubilité.** — Par ce procédé, on peut déparaffiner les résidus de la première distillation, car il n'est pas utile d'obtenir la paraffine cristallisée. Afin d'éliminer l'asphalte dont la présence est gênante, il est parfois nécessaire de procéder au raffinage avant de déparaffiner.

Le solvant employé est l'essence. Dans des bacs d'une capacité de 50 à 300 tonnes, on mélange le résidu et l'essence en le chauffant.

fant vers 35°, on le refroidit par circulation d'eau et enfin par circulation de saumure jusqu'à — 15°. La paraffine se sépare et s'accumule au fond du bac. On laisse reposer vingt-quatre heures, puis on pompe le mélange huile-essence et le mélange paraffine-essence (pétrolatum). L'huile et la paraffine sont desessenciées et le résidu n'a plus qu'à être distillé.

La décantation peut être remplacée par une centrifugation à la supercentrifugeuse Sharpless. La température doit être alors de — 25°. Afin d'assurer l'écoulement du pétrolatum, on maintient à la périphérie du bol une couche d'eau chaude. Ces procédés de déparaffinage sont toujours accompagnés d'une perte d'essence qui ne doit pas dépasser 2 p. 100. Afin de faire des économies de frigories, l'huile déparaffinée sert au refroidissement de l'huile à travailler.

**Fabrication de la paraffine.** — Afin d'avoir une bonne cristallisation, la paraffine brute obtenue précédemment est distillée à feu nu sans injection de vapeur et sans vide. Il reste dans la chaudière un très faible résidu que l'on mélange au brai. Les distillats sont séparés en deux fractions : huile paraffineuse, qui retourne au déparaffinage, et paraffine presque déshuilée. Cette distillation est parfois jugée superflue.

La paraffine contenant encore de l'huile est traitée au filtre-pressé à une température de 20°. Le filtrat retourne au déparaffinage et la paraffine restant sur le filtre est grattée, puis stockée après fusion.

La paraffine est ensuite envoyée au ressuage.

Cette opération se fait dans des chambres calorifugées et chauffées par circulation de vapeur le long des parois. Des thermomètres visibles de l'extérieur indiquent la température de l'enceinte. Des ouvertures, percées dans le plafond, permettent le refroidissement de la chambre avec le concours des portes. Dans ces chambres sont empilés des bacs munis au quart de leur hauteur d'une toile métallique et traversés par un courant d'eau froide ; des trop-pleins font affleurer la surface de l'eau à la hauteur de la toile métallique. La paraffine liquide est alors versée dans les bacs où elle se solidifie par suite de la circulation d'eau. Ceci fait, on vidange l'eau des bacs, on ferme toutes les ouver-



tures et on chauffe peu à peu la chambre. L'huile contenue dans le gâteau commence à suinter, puis tombe dans le fond des bacs d'où elle est conduite à l'extérieur dans une station de réception agencée comme d'habitude. On recueille ensuite la paraffine molle et, au-dessus de 60°, la paraffine dure.

L'huile est renvoyée au déparaffinage et la paraffine molle au ressuage.

La paraffine dure ainsi obtenue ne peut être livrée au commerce qu'après un certain raffinage. Elle est traitée, fondue, par des lessives de soude ; puis, après lavage et filtration à travers une terre décolorante, elle est moulée ou coulée dans des barils.

#### RAFFINAGE DES HUILES DE GRAISSAGE

De même que pour les produits blancs, les huiles de graissage doivent être raffinées afin d'en éliminer les substances nuisibles. Mais alors que cette opération était relativement aisée pour l'essence et le kérosène, elle est ici délicate par suite de la viscosité des produits et de leur tendance à s'émulsionner. Ce raffinage s'effectue par traitement à l'acide sulfurique, suivi d'un traitement alcalin et de lavages, dans des agitateurs identiques à ceux utilisés pour les produits blancs, quoique d'une capacité moindre. Le traitement alcalin ne peut s'effectuer dans le même récipient que le traitement acide par suite de la difficulté à détacher des parois les boues vitrioliques qui y adhèrent. Il est même bon de posséder plus d'agitateurs basiques que d'acides. Les agitateurs acides doivent être surmontés d'une cheminée conduisant à l'extérieur le gaz sulfureux produit. Ils sont, d'ordinaire, placés à un niveau plus élevé que les agitateurs basiques afin de permettre l'écoulement des produits de l'un dans l'autre par simple gravité.



*Traitement acide.* — L'huile est traitée avec de l'acide sulfurique à 66° B dont la quantité dépend de la viscosité de l'huile et de la conduite de la distillation. Elle est de 2 à 4 p. 100 pour les huiles légères et dépasse 10 p. 100 pour les lourdes. Lorsqu'on veut obtenir une huile blanche (huile de vaseline), le traitement acide se fait avec 50 p. 100 d'oleum à 20 p. 100 de  $\text{SO}_2$ .

L'acide est introduit en plusieurs fois, généralement trois ; la première servant surtout à déshydrater l'huile n'en utilise qu'une faible partie. Après chaque acidification, on agite à l'air comprimé pendant environ une heure, à une température de 40 à 50°, puis on laisse décanter les boues vitrioliques — consistantes — que l'on retire, et l'on dirige dans des fosses de stockage. Pour obtenir une décantation aussi complète que possible, on agite l'huile pendant quelques minutes, après la dernière acidification, avec une petite quantité de lessive de soude à 30° B.

*Traitement alcalin.* — L'huile acide est ensuite déversée dans des agitateurs basiques. Le traitement alcalin peut donner des émulsions très stables s'il est mal conduit. La température de traitement et la concentration de la lessive de soude sont déterminées par des essais de laboratoire. La lessive est ajoutée en même temps que l'on agite doucement à l'air comprimé jusqu'à ce que l'huile soit neutre à la phénol-phthaléine, ce dont on s'aperçoit par prise d'échantillons successifs. Une agitation prolongée et un excès de lessive favorisent la formation d'émulsions.

Malgré le soin avec lequel on opère, il est impossible d'éviter la formation d'une certaine quantité d'émulsion. Après décantation, on trouve dans le malaxeur, de bas en haut, une couche de résidu alcalin que l'on écoule, une couche d'émulsion que l'on dirige sur un autre agitateur et l'huile que l'on lave plusieurs fois avec de l'eau de plus en plus chaude. Les premières eaux de lavage ont tendance à former des émulsions. L'huile est ensuite dirigée dans des bacs peu profonds où elle demeure un à deux jours, afin de laisser déposer, sous l'action de la chaleur, les gouttes d'eau qu'elle tient en suspension. Elle est ensuite stockée.

Les émulsions provenant du traitement alcalin et du lavage sont traitées par l'huile acide provenant d'un autre raffinage qui les détruit. L'huile récupérée repasse alors au traitement alcalin mélangé à l'huile acide.

On peut également opérer la neutralisation par un mélange de carbonate de soude et de terre décolorante. L'huile est séparée par filtration au filtre-pressé. L'emploi de ce procédé permet d'éviter la formation d'émulsion.

Dans la fabrication des huiles de vaseline, le traitement alcalin est suivi de traitements à la terre décolorante jusqu'à ce que l'huile soit aussi claire et limpide que de l'eau. Ces opérations s'effectuent en malaxant ensemble l'huile et la terre finement broyée et desséchée, pendant une trentaine de minutes, à une température comprise entre 40 et 60° suivant la viscosité de l'huile, puis en filtrant l'huile au travers de filtres-presses.

Les huiles électrotechniques sont également traitées à la terre décolorante.

Le raffinage entraîne des pertes parfois considérables. Celles-ci varient de 10 p. 100 pour les huiles légères jusqu'à 30 p. 100 pour les huiles lourdes. Elles dépassent 50 p. 100 pour les huiles de vaseline.

Le raffinage peut également s'effectuer sans acidification et neutralisation, par simple traitement à la terre décolorante qui adsorbe résines, asphalte et autres impuretés. On opère soit par malaxage et filtration sous pression, soit par filtration au travers d'une couche de terre. Ce procédé très simple est fort onéreux.

### CRACKING

En vue d'obtenir des rendements plus considérables en essence et de se débarrasser de produits d'un écoulement parfois difficile, on décompose partiellement ces produits — mazout asphaltique, huile paraffineuse, gas oil, etc. — par action simultanée de la chaleur et de la pression. Cette opération dénommée cracking ou thermolyse (voir p. 11) s'effectue suivant un nombre considérable de procédés que l'on peut grouper en procédés en phase gazeuse, procédés en phase liquide, procédés catalytiques.



Nous ne décrivons que quelques procédés, les plus employés.

**Procédés en phase gazeuse.** — Les vapeurs d'hydrocarbures, soumises à une température comprise entre 500° et 600°, donnent des carbures légers, surtout oléfiniques, un résidu de carbures extrêmement lourds et des gaz. L'opération doit être conduite lentement, avec une alimentation régulière.

**Procédé Hall.** — La substance à cracquer est vaporisée par passage très rapide dans un serpentin de 25 mm de diamètre, long de 90 m. La température atteint 540°, la pression 5 kg. Les vapeurs pénètrent alors dans des tubes verticaux de 0,30 m de diamètre, hauts de 4 m, dans lesquels s'opère la décomposition. La vitesse du courant gazeux est d'une trentaine de mètres à la minute. Les tubes de réaction sont suivis d'un déphlegmateur. Les vapeurs non condensées sont extraites par un compresseur qui les refoule, après condensation, dans des réservoirs.

Il y a production de particules de coke qui sont entraînées par la vitesse du courant gazeux dans les tubes verticaux d'où on les enlève facilement.

Le rendement de ce procédé en essence est de 50 p. 100 en partant du gas oil.

Le chauffage est assuré par les gaz, par du mazout ou par les deux réunis.

**Procédés en phase liquide.** — Le produit à cracquer, soumis à une température comprise entre 400° et 500°, donne des carbures légers, moins oléfiniques, et un résidu composé de carbures plus lourds qu'en phase vapeur. La décomposition est également ici accompagnée d'un certain départ de gaz.

**Procédé Burton.** — On ne peut travailler par ce procédé que le gas oil. L'huile contenue dans une chaudière tubulaire de 35 tonnes est chauffée lentement jusqu'à 425° — la pression atteint alors 5 kg — pendant quarante-huit heures. Des vapeurs se dégagent, traversent un déphlegmateur, puis un réfrigérant



d'où le condensat et les gaz s'écoulent dans un réservoir assurant la séparation du liquide et des gaz. Pendant l'opération, on peut introduire dans la chaudière, par le déphlegmateur, au fur et à mesure du cracking, 60 tonnes d'huile.

L'opération terminée, après refroidissement, on nettoie la chaudière afin d'éliminer les particules de coke qui s'y sont incrustées.

Le rendement du procédé Burton en essence est de 30 à 35 p. 100.

*Procédé Dubbs* (fig. 29). — Le procédé Dubbs permet le cracking des produits pétroliers depuis le brut jusqu'au résidu

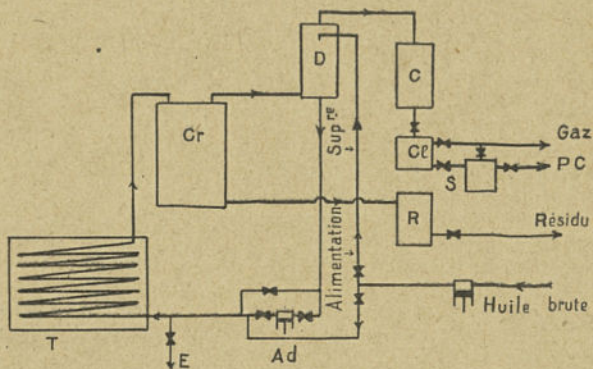


Fig. 29. — CRACKING DUBBS.

T, serpentin de chauffage. — Cr, chambre de réaction. — D, déphlegmateur. — C, condenseur. — Cl, détendeur. — S, séparateur. — Ad, alimentation directe. — E, purge.

et l'obtention de produits divers selon la marche : essence ou pressure-distillat (essence brute séparable en essence et gas oil) accompagné d'un résidu, fuel oil ou coke.

L'huile est pompée dans un serpentin de 10 cm de diamètre et de 450 m de long où sa température s'élève à 440-480°, alors que la pression atteint 10 à 15 kg suivant les produits désirés. La matière première pénètre alors dans une chambre de réaction,

cylindre de 10 m sur 3 m, où se produit la thermolyse. A la sortie de cette chambre, les vapeurs traversent un déphlegmateur traversé également, mais à contre-courant, par l'huile à traiter qui entraîne les parties lourdes. Les vapeurs non condensées passent dans un réfrigérant, puis dans un séparateur gaz-huile. L'addition d'une chambre de *flashing*, où sont brusquement détendus les résidus, augmente légèrement le p. 100 des produits cracqués et diminue considérablement la formation de coke dans la chambre de réaction.

La température du four doit être maintenue constante, ainsi que celle de l'huile à la sortie du serpentín de chauffe.

La marche de l'opération est presque continue et l'on ne s'arrête que pour enlever le coke de la chambre à réaction.

L'appareil Dubbs permet un traitement journalier de 200 tonnes avec un rendement en essence de 40 p. 100, que l'on parte de brut désessencié, de gas oil ou de fuel oil. La quantité de gaz formée est d'environ 35 m<sup>3</sup> par tonne de substance traitée.

Le grand avantage de ce procédé est d'utiliser n'importe quelle matière première, certaines avec des rendements moins bons qu'avec d'autres appareils. Sa place est tout indiquée dans les raffineries de moyenne capacité. Il ne doit être employé dans les raffineries importantes que pour le cracking des résidus lourds.

**Procédé Cross.** — C'est un procédé de cracking sous haute pression (45 kg). L'huile est envoyée par une pompe dans un pré-chauffeur, puis dans le serpentín de chauffe qu'elle quitte à une température comprise entre 470 et 500°, pour pénétrer dans la chambre de réaction, cylindre de 12 m de long sur 0,75 m de diamètre. La traversée de la chambre dure de quinze à soixante minutes suivant la quantité de coke qu'elle contient. Les gaz et le liquide traversent un robinet réducteur de pression, puis un réfrigérant et un séparateur.

Le produit obtenu est un *brut synthétique* qu'il est alors nécessaire de distiller. Les produits lourds provenant de cette distillation retournent alors au cracking. Le rendement en essence est de 65 p. 100 à partir de gas oil, mais il ne faut pas espérer dépasser 55 p. 100.

Un appareil Cross permet de traiter 150 tonnes par jour sur lesquelles 50 proviennent du brut synthétique. La marche est continue pendant six jours, l'arrêt étant nécessité par le nettoyage (grattage du coke).

**Procédés catalytiques.** — **Procédé Mac Afee.** — L'huile parfaitement débarrassée de toute trace d'eau est chauffée à 550° en

présence de 5 à 8 p. 100 de chlorure d'aluminium. Les vapeurs sont condensées et donnent, suivant la matière première, de 15 à 60 p. 100 d'essence saturée contenant peu de composés oxygénés, et des produits lourds que l'on peut traiter en vue de la fabrication d'huiles de graissage.

Le coke résiduaire n'a pas de valeur, étant mélangé avec  $\text{AlCl}_3$  et ses produits de décomposition.

L'inconvénient du procédé est d'être onéreux et d'utiliser un catalyseur donnant aisément des produits qui attaquent rapidement l'outillage ( $\text{HCl}$ ).

#### RAFFINAGE DES ESSENCES DE CRACKING

Les essences de cracking contenant, pour la plupart, de grandes quantités de carbures non saturés, ne peuvent être raffinées au moyen d'acide sulfurique à 66° B. qui les polymériserait ou les éliminerait en grande partie. On utilise alors de l'acide de concentration à 85-90 p. 100 en plus grande quantité, parfois jusqu'à 6 p. 100.

Le raffinage s'effectue comme pour l'essence de distillation<sup>1</sup>.

#### TRAITEMENT DES GAZ ET RÉSIDUS

Les gaz et résidus peuvent être abandonnés, les uns dans l'atmosphère, les autres dans des fosses. Ces procédés sont anti-économiques. Il y a gaspillage, danger et parfois encombrement.

**Gaz.** — La première distillation et les rectifications donnent à peu près 1 p. 100 du produit mis en œuvre sous forme de gaz, condensables ou non. Le cracking donne de grandes quantités de gaz.

Les gaz recueillis sont stockés dans des gazomètres

---

1. On commence à effectuer ce raffinage par traitement des vapeurs d'essence au moyen de terres adsorbantes, qui polymérisent les polyoléfinés. On fait suivre par un lavage au  $\text{Na}_2\text{PbO}_2$  en présence de S.



d'où ils passent dans un compresseur à deux étages l'amenant à une pression de 20 kg. Un réfrigérant rabaisse leur température aux environs de 15°, condense les portions volatiles qui sont soutirées par des valves spéciales et mises en réservoir. Les gaz non condensés sont stockés en gazomètres pour être utilisés dans les foyers de l'usine.

La récupération des portions volatiles peut également se faire par lavage des gaz au moyen d'huile lourde et distillation de cette huile pour en extraire les hydrocarbures légers qu'elle a absorbés.

Cette récupération est également possible par adsorption au moyen de charbon actif ou de sel de silice. (Voir débenzolage, p. 186).

**Résidus acides.** — Les résidus acides contiennent de grandes quantités d'acide sulfurique qui se séparent par décantation. Il reste alors une huile ou un résidu consistant (boues de raffinage des huiles de graissage) que l'on peut utiliser après neutralisation grossière comme combustible dans les foyers de l'usine ou comme asphalte artificiel.

**Résidus alcalins.** — Les résidus provenant du traitement des produits blancs contiennent de notables proportions d'acides naphthéniques que l'on extrait par traitement acide. Ils sont surtout utilisés dans la fabrication de certains savons.

Les résidus provenant du traitement des huiles de graissage contiennent d'assez grandes quantités d'huile et ne peuvent servir qu'à fabriquer des savons bon marché.

---

## CHAPITRE VI

### ANALYSE ET CONTROLE

---

Les huiles de pétrole, brutes ou raffinées, font l'objet d'un sévère contrôle de laboratoire au double point de vue chimique et physique.

Nous ne traiterons ici que des méthodes d'analyse ou de contrôle communes à plusieurs produits pétrolifères. Les essais très spéciaux effectués sur certains corps particuliers, dont la nécessité n'apparaîtrait pas évidente, seront étudiés dans le chapitre suivant à la suite des substances auxquelles ils se rapportent.

La plupart du temps, les résultats obtenus par les méthodes de contrôle sont fonction du mode opératoire. Pour avoir des résultats concordants entre deux expérimentateurs et, à plus forte raison, entre deux laboratoires, il faut posséder des méthodes standard. L'*American Society for testing materials* (A. S. T. M.) a ainsi créé toute une suite de méthodes extrêmement intéressantes. En France, la Marine nationale spécifie nettement, dans ses cahiers des charges, les méthodes suivant lesquelles doivent être examinés les produits qui lui sont destinés.

Les essais chimiques ou physiques doivent toujours être faits en double. Les résultats se contrôlent ainsi mutuellement. Lorsqu'ils ne concordent pas, aux erreurs d'expérience près, — erreurs variant avec la nature de l'essai, — il faut absolument recommencer lesdits essais.

L'hétérogénéité étant un cas extrêmement fréquent dans l'industrie pétrolifère, la prise d'échantillons est très importante. L'échantillon doit avoir la moyenne des caractéristiques de la substance. Un produit liquide doit être énergiquement brassé avant d'y opérer des prélèvements en plusieurs endroits. Le prélèvement sur un corps pâteux ou semi-fluide ne pouvant être brassé, se fait en de nombreuses places. Les prises sont mélangées et l'échantillon moyen est alors prélevé.

### *ANALYSE ÉLÉMENTAIRE DES HUILES*

Un dosage complet des éléments constitutifs des huiles n'est que très rarement demandé industriellement. Une telle connaissance n'est guère utile que si l'on veut déterminer, par le calcul, le pouvoir calorifique ou la chaleur spécifique. Par contre, le dosage du soufre et de l'azote, très important au point de vue raffinage, est souvent pratiqué.

Les méthodes employées sont celles de l'analyse élémentaire organique.

**Dosage de C et de H en l'absence de S et de N.** — L'huile est brûlée par un courant d'oxygène en présence de  $\text{CuO}$ . Il y a formation de  $\text{H}_2\text{O}$  et de  $\text{CO}_2$  que l'on recueille dans des tubes absorbeurs contenant de la soude et de la ponce sulfurique.

La combustion s'effectue dans un tube de verre peu fusible, d'environ 1 m de long. La substance, contenue dans une nacelle et mélangée d'oxyde de cuivre en poudre, est placée aux deux tiers du tube dont l'extrémité est reliée aux absorbeurs. Lorsque la substance est volatile, elle est contenue dans une ampoule munie d'un tube capillaire. De part et d'autre du produit à analyser, on remplit le tube de fragments de fil de cuivre grillés à l'air. On commence à chauffer au rouge les deux extrémités du tube placé sur une rampe à gaz. Petit à petit, on



rapproche la source de chaleur de la partie contenant le corps à analyser. L'opération dure de deux heures et demie à trois heures.

On opère sur un poids de substance de 0,5 à 1 gr.

La quantité d'eau et de  $\text{CO}_2$  est donnée par l'augmentation de poids des deux systèmes absorbeurs.

**Dosage de C et H en présence de S et de N.** — Lorsque l'huile contient du soufre, l'oxyde de cuivre est mélangé à du chromate de plomb transformant le  $\text{SO}_2$  et le  $\text{SO}_3$  formé en  $\text{PbSO}_4$  et empêchant l'absorption de ces gaz par le tube à potasse.

Lorsque l'huile contient de l'azote, on introduit à l'extrémité du tube un tortillon de toile de cuivre réduit qui transforme  $\text{NO}_2$  et  $\text{NO}$  en  $\text{N}$  non absorbable par la potasse. L' $\text{N}$  existant surtout sous forme aminée ( $\text{N}$  lié à  $\text{H}$  et à  $\text{C}$ ) dans les huiles, cette précaution n'est pas toujours indispensable.

**Recherche et dosage de S : Méthode Escka-Rothé.** — Elle ne s'applique qu'aux huiles ne contenant pas de matières volatiles. On chauffe à fusion le mélange composé de 1 g de substance, 1 g de  $\text{MgO}$ , 0,5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et 0,5 g de  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , dans un creuset incliné de façon à n'être chauffé que sur une moitié.

Le chauffage au gaz n'est pas recommandé, car il peut introduire des produits sulfurés faussant les résultats. On dose, dans le résidu, le S sous forme de  $\text{BaSO}_4$  par lavage à l'eau et précipitation au  $\text{BaCl}_2$  dans les eaux de lavage.

**Méthode par combustion dans une lampe.** — Cette méthode ne s'applique qu'aux huiles volatiles. L'huile contenue dans une lampe brûle au contact de l'air et les gaz résultant abandonnent les composés sulfureux formés par barbotage dans une solution de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  et de  $\text{Br}$  qui les transforme en  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Le poids d'huile consommée est la différence de poids de la lampe avant et après essai.

Cette méthode ne donne que le soufre combustible et non le soufre total et il n'est pas rare de constater dans l'huile non brûlée une augmentation de richesse en soufre.

*Méthode Carius.* — L'huile, volatile ou non, est brûlée par chauffage pendant plusieurs heures en tube scellé et en présence de  $\text{HNO}_3$ . Le soufre est ensuite dosé en  $\text{BaSO}_4$ .

Cet essai n'est possible que pour des teneurs élevées en soufre. On ne peut pas, sans grand danger, faire l'essai sur une assez forte quantité de matière et on est alors obligé de faire plusieurs opérations analogues.

*Méthode à la bombe.* — On place dans la nacelle de la bombe 1 g d'huile et dans le fond une solution de carbonate de soude. La substance est brûlée par de l'O sous pression de 20 kg, après allumage par un courant électrique. Le S est dosé en  $\text{BaSO}_4$  dans la solution carbonatée.

Il faut plusieurs essais successifs dans le cas d'une faible teneur en soufre. L'attaque du métal de la bombe et la formation de composés oxygénés de l'azote peuvent fausser les résultats.

*Méthode Boisselet.* — Le dosage s'effectue par combustion de la substance dans un tube en verre peu fusible analogue à ceux servant au dosage de C et H.

Le tube, rempli aux trois quarts de sable lavé à l'acide chlorhydrique et calciné, est placé sur une rampe à gaz. Un courant d'O, privé de S par barbotage dans une solution d'acétate de cuivre, brûle la substance mélangée au sable. Lorsque celle-ci est volatile, on l'introduit dans une ampoule de verre que l'on brise, après le début de l'opération, au moyen d'une baguette coulissant dans le bouchon de fermeture arrière. On chauffe au rouge pendant une heure en commençant par le côté opposé à la substance et en progressant le long du tube. L'oxygène entraînant les produits de la combustion abandonne les composés sulfurés dans des absorbeurs contenant un liquide oxydant pour

le dosage gravimétrique en  $\text{BaSO}_4$ , ou un liquide alcalin pour le dosage volumétrique.

On opère sur 0,5 g, mais si cette quantité est jugée insuffisante, il est possible de faire l'essai sur un poids plus considérable en augmentant la durée de chauffage.

*Méthode Rothé.* — Elle ne convient que pour l'analyse des corps peu volatils. On mélange 3 g d'huile, 1,5 de  $\text{MgO}$  et 40  $\text{cm}^3$  de  $\text{HNO}_3$  fumant dans un ballon pyrex de 500. On chauffe presque à décomposition et, après refroidissement, on reprend par de l'acide nitrique, on évapore à sec et on calcine. Le résidu repris par de l'acide chlorhydrique, est traité au  $\text{BaCl}_2$  afin d'obtenir la précipitation du soufre.

**Dosage de N : Méthode Dumas.** — L'huile est brûlée au contact d'oxyde de cuivre en atmosphère carbonique.

La combustion s'effectue dans un tube en verre comme dans le dosage de C et H. Un tortillon de cuivre réduit se trouve à l'extrémité où se dégage le courant de gaz carbonique et a pour mission de transformer en N les produits nitrés provenant de la combustion.

A la sortie, un absorbeur élimine le gaz carbonique, et l'azote passe dans une burette où on la dose volumétriquement.

*Méthode Kjeldhal* — On ne peut appliquer cette méthode qu'aux huiles peu volatiles. La substance est détruite par de l'acide sulfurique ou par un mélange acide perchlorique-acide sulfurique (dans ce cas, la destruction est extrêmement rapide). L'N est transformé en ammoniacque qui se dégage par traitement du jus sulfurique au moyen d'un alcali. On titre par retour l'ammoniacque qui se condense dans une solution d'acide sulfurique.

Cette méthode ne convient que pour l'azote aminé ou amidé, c'est-à-dire non lié à un ou plusieurs atomes d'oxygène.



**Dosage de O.** — L'oxygène n'est pas dosé directement, mais uniquement par différence. Procédé illusoire.

Il faut tenir compte des cendres.

### COMPOSITION

**Méthode Tauss.** — Les carbures non saturés et aromatiques sont éliminés par l'acide sulfurique contenant de 97 à 100 p. 100 de  $\text{SO}_4\text{H}_2$ . On opère sur 25 cm<sup>3</sup> d'huile et 75 cm<sup>3</sup> d'acide dans un ballon à long col gradué. Après une demi-heure d'agitation, on laisse reposer et on lit la différence de niveau. Elle correspond aux carbures oléfiniques et aromatiques.

Les carbures oléfiniques sont transformés par traitement à l'acétate mercurique en complexes ou en produits oxygénés. 50 cm<sup>3</sup> d'huile sont traités au bain-marie par 500 cm<sup>3</sup> de solution mercurique à 5 p. 100 et 15 cm<sup>3</sup> d'alcool. Les produits non attaqués sont séparés par distillation sous vide, puis lavés à la soude et au bisulfite de sodium afin d'éliminer les produits oxygénés entraînés (cétones, aldéhydes, acides).

Le distillat correspond aux carbures saturés et aromatiques. Par différence avec la quantité initiale, on obtient les oléfines.

**Indice d'iode. Indice de brome.** — Les halogènes possèdent la propriété de se fixer aisément sur les doubles liaisons lorsqu'elles ne font pas partie d'un noyau aromatique.

Les indices d'iode et de brome sont le nombre de milligrammes d'iode ou de brome que peut fixer 1 g de substance.

Les diverses mesures de l'indice d'iode sont longues et délicates. La méthode *DUBOVITCH* d'indice de brome est simple et rapide. On dissout dans le tétrachlorure de carbone une quantité

d'huile exactement pesée, voisine de 1 g. On ajoute 10 cm<sup>3</sup> de la solution

BrO <sub>3</sub> K .....	5 g 568
BrK .....	10 g
Eau à .....	1 000 cm <sup>3</sup>

et un peu d'acide chlorhydrique. Après agitation, on laisse reposer deux heures, on ajoute 20 cm<sup>3</sup> d'une solution d'iodure de potassium à 10 p. 100 et on titre l'iode mis en liberté par du thiosulfate de sodium. La quantité d'iode ainsi titrée correspond à l'excès de brome. La quantité de brome fixée est donnée par la différence entre l'excès de Br et l'équivalent en Br de la solution.

Les résultats s'expriment en indice de brome. Il est possible de calculer à partir de cet indice la teneur d'une essence en carbures oléfiniques exprimés en amyène.

$$E = \frac{IBr}{160} \times 70.$$

(E : p. 100 d'oléfine. — IBr : indice de brome trouvé. — 70 : poids moléculaire de l'amyène. — 160 : indice de brome de l'amyène).

**Méthode Simon-Chavannes.** — Applicable seulement aux essences, cette méthode est basée sur la température critique de dissolution-(T. C. D.) des essences dans l'aniline.

Désignons par

E le pourcentage des oléfines exprimés en amyène ;

Ar le pourcentage des aromatiques ;

C le pourcentage des naphthènes ;

Ac le pourcentage des carbures saturés ;

T la T. C. D. de l'essence initiale avec l'aniline ;

T' la T. C. D. de l'essence privée d'oléfines ;

T'' la T. C. D. de l'essence privée d'oléfines et d'Ar.

On a alors :

$$T' = T + 0,4E$$

$$Ar = 1,18 (T'' + 0,2 - T')$$

$$C = \frac{72 - (T'' + 0,2)}{72 - 39,5} (100 - Ar - E)$$

$$Ac = 100 - Ar - C - E$$

Les divers coefficients numériques qui se trouvent dans

les formules ci-dessus ont été obtenus expérimentalement, nous ne nous étendrons pas sur leur calcul.

Cette méthode ne convient que pour des essences distillant avant 130-140° et contenant moins de 20 p. 100 d'aromatiques et 3 p. 100 d'oléfines.

**Détermination des oléfines.** — Les oléfines sont données par l'indice de brome. On verse dans le mélange 5 cm<sup>3</sup> d'essence et 10 cm<sup>3</sup> de SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> à 20 p. 100, la solution de bromure bromate suivant :

K Br <sub>2</sub> .....	9,917 gr.
K Br <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	2,783 —
H <sub>2</sub> O .....	1 000 —

jusqu'à coloration persistante.

$$E = \frac{n}{10}$$

*n* : nombre de centimètres cubes versés.

**Détermination des T. C. D.** (fig. 30). — Les T. C. D. de l'essence pure et de l'essence privée d'aromatiques et d'oléfines sont obtenues par le procédé suivant.

Dans des tubes de verre, on introduit 1 cm<sup>3</sup> d'aniline<sup>1</sup> et 0,1, puis 0,2, etc... cm<sup>3</sup> d'essence. Les tubes, après fermeture, sont plongés dans un vase rempli d'eau à une température telle que le mélange essence-aniline devienne monophasique. On laisse descendre la température et on note celles correspondant à l'apparition d'un trouble intense dans chaque tube. Les températures de trouble croissent avec la quantité d'essence, passent par un maximum, puis décroissent. On peut tracer une courbe.

La T. C. D. est le maximum présenté par la courbe.

L'essence privée d'aromatiques et d'oléfines est obtenue par

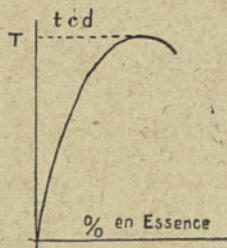


Fig. 30. — COURBE DES TEMPÉRATURES DE DISSOLUTION T en fonction du p. 100 en essence.

1. L'aniline doit être pure. On l'obtient aisément, par distillation de l'aniline commerciale séchée sur du carbonate de potassium. Sa T. C. D.



nitration à froid de 50 cm<sup>3</sup> d'essence au moyen d'un mélange sulfonitrique. Après décantation de l'acide, l'essence est lavée à l'acide sulfurique pour éliminer les produits nitreux dissous.

### ESSAIS CHIMIQUES

**Acidité.** — Les huiles minérales sont rarement neutres. Elles peuvent être acides par suite de la présence d'impuretés telles que les acides naphthéniques et les résines. Le raffinage y introduit parfois des corps acides ou basiques provenant des divers agents utilisés dans ce traitement.

**Acidité minérale et basicité.** — Elles proviennent du raffinage. Pour les doser, on porte à ébullition de l'eau contenant 100 cm<sup>3</sup> d'huile, on filtre pour séparer l'eau de l'huile (l'huile reste sur filtre), on sépare le filtrat en deux parties égales. On ajoute quelques gouttes de solution alcoolique à 0,03 p. 100 de phénolphthaléine à l'une des parties, et de méthyl-orange à l'autre. On titre la fraction n'ayant pas viré au moyen de solutions aqueuses, acide ou basique, décimales. Les résultats sont exprimés en p. 100 de SO<sub>2</sub> ou de KOH, suivant que l'huile est acide ou basique.

**Acidité organique.** — 25 g d'huile sont dissous dans 250 cm<sup>3</sup> du mélange 80 p. 100 éther, 20 p. 100 alcool. On titre au moyen de potasse alcoolique décimale en présence de phénolphthaléine.

Sila couleur de l'huile empêche la vision nette du virage, il faut l'épuiser à l'alcool et titrer ce dernier.

Il est important, avant d'utiliser un solvant, de s'assurer de sa neutralité.

Cet essai donne la somme acidité minérale et organique. Lors de l'existence de la première, l'acidité minérale doit être défalquée du chiffre trouvé.

L'acidité organique s'exprime en p. 100 de SO<sub>2</sub> ou d'acide oléique (poids moléculaire 282), ou en indice d'acide (p. 100 de KOH nécessaire à la neutralisation).

La Marine nationale et l'A. S. T. M. employent des méthodes

---

avec le cyclohexane pur est de 31°. Conservée dans l'obscurité, elle ne s'altère pas sensiblement.

différentes. Le mélange d'huile et d'alcool à 96° (Marine) ou à 50° (A. S. T. M.) est titré après ébullition pendant vingt minutes.

Eau. — Une huile complètement anhydre est rare. Le fait ne se rencontre guère que dans le cas d'huiles électro-techniques que la présence d'une très légère humidité suffit à rendre presque inutilisables.

L'eau peut être dissoute dans l'huile ou se trouver en suspension.

L'essence en dissout à 25° .....	0,011 p. 100
Le lampant en dissout à 25° .....	0,006 —
L'huile de graissage en dissous à 25°	0,003 —

Qualitativement la présence d'eau est constatée par la formation de mousse ou par des *claquements* lorsqu'on chauffe l'huile au-dessus de 100°.

*Dosage de l'eau* (fig. 31). — 1° On place dans un ballon une solution de l'huile à analyser dans du xylène saturé d'eau. Le ballon communique avec un réfrigérant surmontant une éprouvette graduée dans laquelle se réunissent les produits condensés. On lit le volume de l'eau rassemblée dans le bas de l'éprouvette par suite de sa densité. Lorsque des gouttes d'eau restent adhérentes aux parois, on les fait tomber par de légers chocs sur le récipient.

2° On dose l'eau en mesurant la quantité d'hydrogène formé lorsqu'on met du sodium dans l'huile.

$$1\ 000\ \text{cm}^3\ \text{H} = 0,804\ \text{g}\ \text{H}_2\text{O}.$$

3° On fait barboter un courant d'air sec dans l'huile. Celui-ci entraîne l'eau sur du carbure de calcium et donne naissance à de

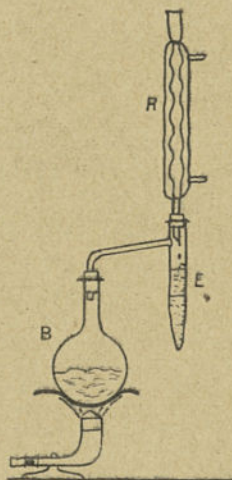
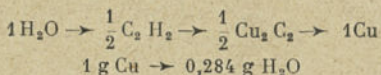


Fig. 31. — DOSAGE DE L'EAU. — B, ballon. — R, réfrigérant. — E, éprouvette.

l'acétylène. Le gaz est ensuite transformé en acétylure de cuivre que l'on dose en Cu après dissolution dans  $\text{SO}_4\text{H}_2$ .



**Impuretés mécaniques.** — L'huile peut contenir des impuretés insolubles provenant du raffinage (sels, solubles dans l'eau) ou des appareils de transport et d'emmagasinage (colle, rouille, sable).

L'huile légère est traitée telle quelle, l'huile lourde est dissoute dans un mélange d'essence et de benzol. On filtre sur filtre taré, on lave à l'essence-benzol, on sèche à  $105^\circ$  et l'on pèse. La différence de poids donne la quantité de matières insolubles dans l'huile.

La partie insoluble est ensuite lavée à l'eau bouillante, puis repesée. On a ainsi la somme des quantités de sels et de colle. Cette dernière est reconnue à la mauvaise odeur que dégage, à la calcination, le résidu d'évaporation du filtrat.

**Cendres.** — Elles proviennent des impuretés minérales ainsi que des bases saturant les acides sulfoniques, naphéniques et autres incorporés volontairement (graisses) ou provenant d'un raffinage défectueux.

1° Pour les huiles volatiles, on distille 1 litre du produit jusqu'à ne plus avoir que  $50 \text{ cm}^3$ . Ce résidu placé dans un creuset taré de quartz ou de platine, muni d'une mèche (tortillon de papier-filtre sans cendres) est enflammé. Lorsque la combustion est terminée, on calcine. La différence de poids du creuset avant et après l'opération correspond au poids des cendres.

2° Lorsque l'huile n'est pas volatile, on incinère, puis on calcine  $50 \text{ g}$  du produit dans un creuset taré. Si l'on soupçonne l'huile de contenir des savons, la calcination ne peut se faire dans un creuset de quartz par suite de la formation de silicates alcalins fusibles.

**Paraffine.** — Cette substance peu volatile se concentre dans les huiles lourdes. On ne la cherche que dans ces dernières ou dans l'huile brute.



L'huile brute avant le dosage doit être évaporée au bain-marie pour chasser les constituants volatils.

*Méthode de Holde.* — On prélève 5 à 10 g d'huile, on les dissout dans 30 cm<sup>3</sup> d'éther sulfurique, on refroidit à — 20° et on précipite la paraffine au moyen de 20 cm<sup>3</sup> d'alcool. La paraffine est séparée par filtration au vide, à — 20°, puis lavée à l'alcool à — 20°.

Pour séparer la paraffine des autres substances précipitées (asphalte), on la dissout sur filtre par de l'alcool bouillant. Après évaporation dans un vase taré, on a la paraffine pure que l'on pèse.

Le remplacement de l'éther par de l'alcool amylique permet de n'abaisser la température qu'à 0°. Cette méthode ne s'applique qu'aux huiles intégralement solubles dans cet alcool.

On peut, avant de doser la paraffine, éliminer la majeure partie des substances asphaltiques par traitement à l'acide sulfurique de l'huile en solution dans l'éther de pétrole. Le dosage s'effectue alors sur une partie aliquote de la solution, après départ du goudron sulfurique.

**Asphalte.** — Nous savons que l'asphalte existe dans les huiles minérales sous forme dure, molle et sous forme de résine. Le plus souvent, on ne fait le dosage que de l'asphalte dur. Ces substances ne se rencontrent pas dans les fractions combustibles légères.

*Asphalte dur.* — On dissout 4 g d'huile dans 200 cm<sup>3</sup> de *benzine normale* (essence de densité voisine de 700, distillant entre 65 et 95° et débarrassée des produits absorbables par l'acide sulfurique) et on laisse reposer de douze à vingt heures dans un endroit obscur, à une température comprise entre 15 et 20°. Le précipité est séparé par filtration, extrait au Soxhlet par de la benzine normale, puis par de l'alcool à 90°, puis dissous dans le benzène. La solution benzénique donne, après évaporation, la quantité d'asphalte dur contenue dans la prise d'essai.

*Asphalte mou.* — On dissout 5 g d'huile dans 150 cm<sup>3</sup> d'éther sulfurique, puis on ajoute 75 cm<sup>3</sup> d'alcool à 96° et on laisse au repos pendant cinq heures. La solution est ensuite filtrée; la partie insoluble, extraite à l'éther-alcool, est dissoute par du

benzène. Après évaporation, on a la somme de l'asphalte dur et de l'asphalte mou. Le poids de ce dernier est donné par la différence avec celui de l'essai précédent.

**Résine.** — Par extraction à l'alcool éthylique à 70° G.-L., on retire la résine du produit en examen. La solution alcoolique évaporée dans un récipient taré donne le poids de résine.

**Goudrons.** — Sous ce nom, nous entendons les matières éliminables par l'acide sulfurique à 66° B. Cet essai n'est guère effectué que sur les huiles combustibles lourdes, les huiles de graissage et les huiles électrotechniques.

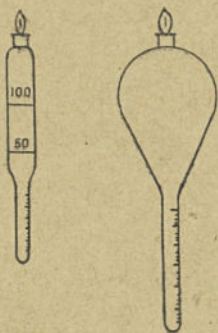


Fig. 32. — RÉCIPIENTS pour le dosage des goudrons.

On mélange 50 cm<sup>3</sup> d'huile et 50 cm<sup>3</sup> d'essence dégoudronnée. Le tout, introduit dans un récipient de forme spéciale (fig. 32), est agité pendant cinq minutes avec 10 cm<sup>3</sup> d'acide sulfurique. Après repos de cinq heures à 50-60°, on lit le volume occupé par l'acide sulfurique et les matières éliminées. Ce nombre diminué de dix, puis doublé, donne le pourcentage en goudrons.

Dans l'essai Thomson, surtout utilisé pour les huiles électrotechniques, on emploie 200 cm<sup>3</sup> d'huile, 200 cm<sup>3</sup> d'essence et 10 cm<sup>3</sup> d'acide. Le récipient employé a la forme d'une boule.

Le résultat obtenu doit ici être dédoublé pour donner le pourcentage en goudron.

### ESSAIS PHYSIQUES

**Densité.** — La densité intervient pour caractériser les produits ainsi que dans les calculs d'emmagasinage et de traitement.

Elle est toujours prise à 15°. La mesure se fait au picnomètre, au densimètre, à la balance de Mohr, ou par mélange.

On laisse tomber une goutte du corps dont on cherche la densité dans un mélange eau-alcool en proportions telles que la goutte demeure en suspens. La densité du corps est équivalente à celle du mélange que l'on mesure par les méthodes ordinaires.

Le coefficient de correction moyen utilisé lorsque l'on opère à une température différente de 15° est 0,00065.

**Dilatation.** — La connaissance de la dilatation est nécessaire pour l'emmagasinage des produits (chambres d'expansion).

On détermine facilement le coefficient de dilatation entre deux températures  $T$  et  $T'$  par mesure des densités  $d$  et  $d'$  à ces mêmes températures.

$$\alpha = \frac{d - d'}{(T' - T)d}$$

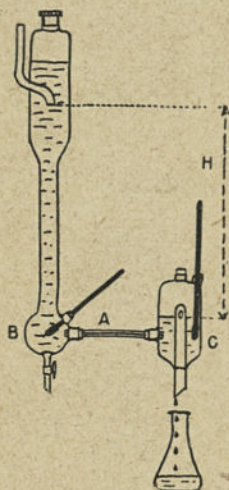
**Viscosité.** — Outre son influence sur le pouvoir lubrifiant, la viscosité intervient dans le calcul des tuyauteries et des pompes nécessaires au transport des huiles.

La viscosité des huiles légères, étant très faible, n'est jamais mesurée.

La plupart des viscosimètres sont basés sur la loi de Poiseuille. Il y a écoulement dans un tube capillaire. Ces appareils sont dits *absolus* lorsqu'ils sont étalonnés par mesure directe, et *relatifs* lorsqu'ils sont étalonnés relativement à un liquide de viscosité connue, l'eau le plus souvent. Les viscosités s'expriment en poises ou en unités arbitraires (Engler, Barbey, etc.) dans certains appareils industriels. Dans toutes les mesures, il faut opérer à température aussi constante que possible, à cause des variations considérables de la viscosité à la suite d'élévations minimes de température.



*Viscosimètre Vlès* (fig. 33). — Viscosimètre absolu. Les extrémités d'un tube capillaire A,



horizontal, d'une longueur de 25 cm, pénètrent dans deux réservoirs, l'un B communiquant par un tube vertical avec un réservoir de Mariotte, l'autre C muni d'un déversoir vertical, dont l'ouverture est à 1,5 cm au-dessus de l'orifice du tube capillaire. L'appareil est placé dans un thermostat.

On mesure : la hauteur H comprise entre l'orifice du déversoir et celui du vase de Mariotte ; le diamètre R du tube capillaire ; la longueur L du même tube ; la masse M du liquide écoulé pendant le temps t ; le volume V du liquide écoulé,  $V = \frac{M}{d}$  ; la densité d.

La formule de Poiseuille donne :

$$\eta = \left[ \frac{\pi H g R^4}{8 L} \right] \frac{M t}{V^2}$$

Fig. 33. — VISCOSIMÈTRE VLÈS.

La partie entre crochets est fixe d'une expérience à l'autre. C'est la constante de l'appareil et, après étalonnage, il suffit de mesurer Mt et d.

Suivant la viscosité, on utilise des capillaires plus ou moins fins. L'appareil est étalonné pour chaque capillaire.

*Viscosimètre Ostwald* (fig. 34). — Viscosimètre relatif donnant les résultats en poises. Un tube en U, en partie capillaire, muni de deux boules, est placé dans un thermostat. On mesure le temps d'écoulement du liquide contenu dans la boule.

$$\eta = \left[ \frac{n_0}{t_0 d_0} \right] t d$$

( $\eta$  : viscosité ;  $n_0$  : viscosité de l'étalon. — t : temps d'écoule-

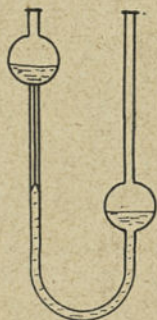


Fig. 34. — VISCOSIMÈTRE OSTWALD.

ment du liquide de densité  $d$ . —  $t_0$  : temps d'écoulement de l'éta-  
 lon de densité  $d_0$ . —  $\frac{\eta_0}{t_0 d_0}$  :  $K$  = constante  
 de l'appareil).

La hauteur de charge varie à cha-  
 que instant, ce qui fausse les résultats.

**Viscosimètre Baume** (fig. 35). —  
 Viscosimètre relatif. Un tube capil-  
 laire, muni à sa partie supérieure  
 d'une boule, plonge dans un tube à  
 essai placé lui-même dans une ja-  
 quette thermostatique.

On mesure le temps d'écoulement  
 du liquide entre deux repères. Le  
 bas du capillaire est immergé dans  
 l'huile.

$$\eta = Kdt$$

comme dans l'appareil d'Ostwald.

Le viscosimètre Baume possède des  
 capillaires de calibres  
 différents suivant la  
 viscosité à  
 mesurer.

Cet ap-  
 pareil a  
 des pertes de charge comme le pré-  
 cédent.

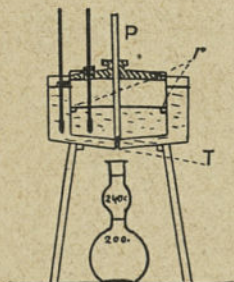


Fig. 36. — VISCOSIMÈTRE  
 ENGLER.

P, pointeau. —  $r$ , repères.  
 — T, tubulure.

volume est repéré par des pointes fixées aux parois. L'espace  
 compris entre les deux cuvettes est rempli d'eau que l'on  
 chauffe à la température voulue. La tubulure est fermée par un

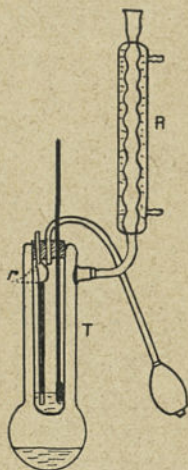


Fig. 35. — VISCOSI-  
 MÈTRE BAUME.

R, réfrigérant. —  $r$ ,  
 repères. — T, ja-  
 quette thermostati-  
 que.

**Viscosimètre Engler** (fig. 36).  
 — Viscosimètre relatif. Deux cu-  
 vettes cylindriques, en métal, à fond  
 conique, pénètrent l'une dans l'autre.  
 Un tube, cylindre court, les tra-  
 verse. 240 cm<sup>3</sup> d'huile sont versés  
 dans la cuvette intérieure. Ce vo-

pointeau en bois que l'on retire pour faire couler l'huile. On mesure le temps  $T$  d'écoulement de 200 cm<sup>3</sup> dans un vase de forme spéciale. Les mesures se font à 20, 35, 50, 80, 100 et même 200°.

La viscosité Engler est le rapport

$$E = \frac{T}{T_0}$$

$T_0$  étant le temps d'écoulement de 200 cm<sup>3</sup> d'eau. Ce temps doit être compris entre 50 et 52 secondes à 20°.

Lorsqu'on ne dispose pas des 240 cm<sup>3</sup> réglementaires, l'appareil est cependant encore utilisable. Les résultats doivent être alors corrigés.

Volume de liquide introduit	Volume de liquide écoulé	Correction
120	100	1,65
60	50	2,80
45	20	7,55

*Viscosimètre Saybolt* (fig. 37). — On mesure le temps d'écoulement de 60 cm<sup>3</sup> d'huile sur 85 contenus dans l'appareil. Ce dernier appareil ne diffère guère de l'Engler que par ses dimensions. La tubulure est fermée par un bouchon. Le départ, de ce fait, est entaché d'une certaine erreur.

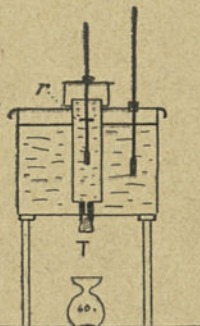


Fig. 37. — VISCOSIMÈTRE SAYBOLT.

$r$ , repères. —  $T$ , tubulure.

Les mesures se font à 100 et 210° F. (37,5 et 99° C.).

La viscosité Saybolt est le temps en secondes de l'écoulement. La même quantité d'eau doit s'écouler en trente secondes à 60° F. (15°,5 C.).

*Viscosimètre Redwood*. — De forme analogue au précédent. La tubulure en agate surmontée d'un logement semi-sphérique est obstruée plus rationnellement que dans le Saybolt par une boule métallique.

La mesure se fait à la même température que pour le Saybolt.



La viscosité Red wood est le temps d'écoulement de 50 cm<sup>3</sup>. La même quantité d'huile de colza, de densité 0,915, doit s'écouler en 535 secondes à 60° F. (15°,5 C.).

Parfois on exprime les résultats Red wood par rapport à l'huile de colza de viscosité 100.

$$100 = \frac{T}{535} \frac{\rho}{0,915} = R$$

(T ; temps d'écoulement de l'huile. —  $\rho$  : densité de l'huile).

Ces trois appareils ne fonctionnent pas à charge constante et, pour les liquides très fluides, l'écoulement cesse d'être lent et la loi de Poiseuille ne s'applique plus.

*Ixomètre Barbey* (fig. 38). — L'ixomètre sert à mesurer la fluidité. C'est un appareil relatif. Les résultats sont exprimés par le nombre de centimètres cubes qui s'écoulent en une heure.

L'emploi de tubes gradués en  $\frac{1}{6}$  de centimètre cube permet la mesure en dix minutes. L'huile de colza a une fluidité 100 à 35°.

L'appareil est constitué par deux tubes verticaux réunis par un troisième horizontal. Au sommet de l'un d'eux, se trouve un réservoir à niveau constant et au sommet de l'autre, un déversoir. Ce dernier tube est muni d'une tige centrée délimitant un espace capillaire.

Le tout prend place dans un thermostat.

La charge de cet appareil est constante, à l'inverse des autres étudiés jusqu'ici.

On effectue les fluidités Barbey à 35, 50, 75, 100 et 200° C.

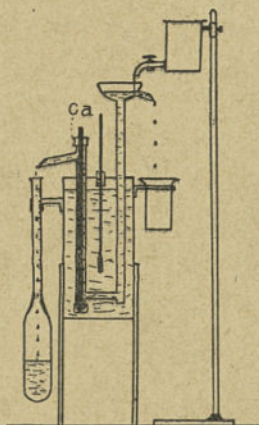


Fig. 38. — IXOMÈTRE BARBEY.

Ca, capillaire.

*Viscosimètres non basés sur la loi de Poiseuille.* — La mesure de la viscosité peut se faire par d'autres phénomènes que ceux d'écoulement en tube capillaire.

*Viscosimètre Jones.* — Dans cet appareil basé sur la loi de Stokes, on mesure le temps que met une bille tombant dans l'huile pour passer entre deux repères distants de 10 cm. Les résultats s'expriment en poises :

$$\eta = \frac{2}{9} g a^2 \left( \frac{d - d'}{10} \right) t$$

$a$  : diamètre de la bille en cm ;  $d$  : densité de la bille ;  $d'$  : densité de l'huile ;  $t$  : temps en seconde.

*Viscosimètre Mac Michael.* — Un solide cylindrique en métal suspendu par un fil de torsion est plongé dans l'huile à l'intérieur d'un autre cylindre animé d'un mouvement de rotation constant. Il y a entraînement. L'angle dont a tourné le fil de torsion mesure le couple, proportionnel à la viscosité.

*Viscosimètre Michell.* — Cet appareil comprend une coupelle métallique munie de trois petites saillies empêchant une bille d'acier de venir en contact trop complet avec la coupelle. Ces trois pointes déterminent l'épaisseur de la pellicule d'huile.

La viscosité est mesurée par le temps nécessaire à la bille pour se détacher de la coupelle renversée vers le bas.

L'appareil est étalonné par une huile de viscosité connue. Les résultats s'expriment en poises :

$$\eta = Kt.$$

$K$  : constante de l'appareil.

**Viscosité des mélanges.** — Lorsqu'il s'agit de préparer une huile de viscosité  $A$  à partir de deux huiles de viscosité  $B$  et  $C$ , on peut calculer les proportions de chacun des constituants par de nombreuses formules malheureusement peu exactes. (Voir page 20, formule de Winslow-Herschell.)

Les meilleurs résultats sont donnés par les tables de Molin.

E°	% B	Différ. pour 0,01°	E°	% B	Différ. pour 0,01°
1,50	0,0				
1,55	7,0	1,40	5,5	61,8	0,04
1,60	12,0	1,00	6,0	63,7	0,038
1,65	16	0,80	6,5	65,3	0,032
1,70	19,2	0,64	7,0	66,7	0,028
1,75	21,8	0,52	7,5	68,0	0,026
1,80	24,0	0,44	8,0	69,3	0,026
1,85	26,0	0,40	8,5	70,5	0,024
1,90	27,9	0,38	9,0	71,7	0,024
1,95	29,6	0,34	9,5	72,7	0,020
2,00	30,9	0,26	10	73,6	0,018
2,1	32,8	0,19	11	75,2	0,016
2,2	34,6	0,18	12	76,7	0,015
2,3	36,3	0,17	13	78,1	0,014
2,4	37,9	0,16	14	79,3	0,012
2,5	39,4	0,15	15	80,4	0,011
2,6	40,8	0,14	16	81,5	0,011
2,7	42,1	0,13	17	82,5	0,010
2,8	43,3	0,12	18	83,4	0,009
2,9	44,4	0,11	19	84,2	0,008
3,0	45,5	0,11	20	85,0	0,008
3,1	46,6	0,11	22	86,5	0,0075
3,2	47,6	0,10	24	87,8	0,0065
3,3	48,6	0,10	26	89,0	0,0060
3,4	49,3	0,09	28	90,1	0,0055
3,5	50,4	0,09	30	91,1	0,0050
3,6	51,2	0,08	32	92,1	0,0050
3,7	51,9	0,07	34	93,0	0,0045
3,8	52,6	0,07	36	93,8	0,0040
3,9	53,3	0,07	38	94,6	0,0040
4,0	54,0	0,07	40	95,3	0,0035
4,1	54,7	0,07	42	95,9	0,0030
4,2	55,4	0,07	44	96,5	0,0030
4,3	56,1	0,07	46	97,0	0,0025
4,4	56,8	0,07	48	97,5	0,0025
4,5	57,4	0,06	50	98,0	0,0025
4,6	57,9	0,05	52	98,4	0,0020
4,7	58,4	0,05	54	98,8	0,0020
4,8	58,9	0,05	56	99,2	0,0020
4,9	59,4	0,05	58	99,6	0,0020
5,0	59,8	0,04	60	100,0	0,0020



Ces tables conviennent pour les huiles de viscosité Engler comprises entre 1,5 et 60.

Par exemple, la viscosité du mélange 20 p. 100 d'huile A de viscosité 31 et 80 p. 100 d'huile B de viscosité 36 sera :

A 31 correspond 91,6

A 3,6 correspond 51,2.

$$\frac{20 \times 91,6 + 80 \times 51,2}{100} = 59,3$$

A 59,3 correspond 4,88

la viscosité sera 4°,88.

De même pour obtenir une huile de viscosité 6°5 à partir d'une huile A de viscosité 26 et d'une huile B de viscosité 4,5, il faudra :

A 26 correspond 89 ;

A 4,5 correspond 57,4 ;

A 6,5 correspond 65,3.

$$\frac{x \times 89 + (100 - x)57,4}{100} = 65,3$$

$$x = 25$$

il faudra donc :

25 p. 100 de A ;

75 p. 100 de B.

**Coloration.** — La pureté des produits n'est indiquée par la coloration que dans les huiles légères et les huiles surraffinées. Elle peut servir à reconnaître la continuité d'un produit.

De nombreux appareils servent à sa mesure par rapport à des étalons, verres ou liquides colorés, ou à des solutions salines de concentration donnée.

**Colorimètre Dubosc.** — L'huile et le liquide type sont introduits dans deux éprouvettes de verre. On fait varier les hauteurs de liquide jusqu'à égalité de teinte par l'enfoncement plus ou moins grand de deux plongeurs de verre. Le rapport des colorations est égal à l'inverse du rapport des hauteurs.

**Colorimètre Saybolt.** — La hauteur de l'huile varie par écoulement au bas d'un tube gradué jusqu'à égalité de coloration avec un étalon en verre d'urane d'épaisseur constante.

Les résultats sont exprimés par la hauteur de l'huile en *inches* (pouces).

**Colorimètre Lovibond.** — L'huile est examinée sous épaisseur constante par rapport à des verres-étalons plus ou moins colorés.

La coloration Lovibond est le numéro du verre ou la somme des numéros des verres nécessaires à l'égalité de teinte.

**Colorimètre Union.** — L'huile est comparée, sous épaisseur constante, à des verres colorés ou à des solutions colorées. Les couleurs des divers types sont :

- 1 water white (blanc) ;
- 1 1/2 extra-crème ;
- 2 crème ;
- 2 1/2 extra citron pâle ;
- 3 citron pâle ;
- 3 1/2 extra orange pâle ;
- 4 orange pâle ;
- 4 1/2 pâle ;
- 5 rouge clair ;
- 5 1/2 rouge foncé ;
- 6 rouge sombre ;
- 7 rouge vif.

**Pouvoir rotatoire. Indice de réfraction.** — La connaissance de ces deux constantes est utilisée comme contrôle de la pureté des produits. Une huile falsifiée avec de l'huile de résine aura un pouvoir rotatoire élevé. On se sert de polarimètres ou de saccharimètres. Les réfractomètres Abbé et Féry conviennent le mieux à la mesure des indices de réfraction.

**Point de congélation.** — On note la température à laquelle l'huile contenue dans une éprouvette ne coule plus lorsqu'on incline cette dernière.

Ordinairement, on emploie une éprouvette de 25 mm de diamètre, remplie d'huile sur une épaisseur de 30 mm, que l'on plonge dans un bain réfrigérant. On la retire de temps en temps,

on l'incline et on note la température à laquelle le niveau de l'huile reste immobile pendant cinq secondes.

Dans la méthode A. S. T. M., le diamètre de l'éprouvette est de 35 mm et l'épaisseur de l'huile 60 mm. On retire et incline l'éprouvette tous les 5° F. Le point de congélation est la température à laquelle le niveau de l'huile reste fixe pendant cinq secondes, augmentée de 5° F.

Dans la méthode de la Marine nationale, on note le temps que met une baguette de verre de 20 cm de long et pesant 12,5 g pour traverser une hauteur de 10 cm d'huile contenue dans un tube à essai et ayant été soumise à une température donnée pendant une heure.

**Point de ramollissement.**— Le point de ramollissement est utilisé dans l'analyse des produits consistants à température ordinaire.

**Point de goutte Ubbelohde.** — La substance est contenue dans un godet métallique, percé à sa partie inférieure d'une ouverture et suspendu à un thermomètre, le réservoir plongeant dans la substance. L'appareil ainsi monté est placé à l'intérieur d'un tube à essai de grand diamètre, placé lui-même dans un bain d'huile que l'on chauffe lentement.

On note les températures auxquelles :

- 1° apparaît une goutte ;
- 2° tombe cette goutte.

**Point Kraemer-Sarnow.** — Un tube de verre de 6 mm de diamètre est rempli sur une hauteur de 5 mm par la substance en examen. On verse au-dessus de cette dernière 5 g de mercure. Le tube de verre est alors accolé, par une bague de caoutchouc, au réservoir d'un thermomètre. Le tout est plongé dans un bain d'eau ou une solution saline que l'on chauffe doucement.

On note la température à laquelle le mercure traverse la substance.

**Point de trouble.** — C'est la température à laquelle l'huile cesse d'être transparente par suite de la formation d'une couche de paraffine solide.

**Points d'inflammabilité et de combustion.** — Ce sont des indicatifs des dangers d'incendie présentés par les



huiles, ainsi que de la plus ou moins grande facilité de combustion lors des emplois thermiques ou lors des emplois lubrifiants dans les cylindres des moteurs thermiques.

Le point d'inflammabilité est le degré thermométrique auquel l'huile émet des vapeurs en quantités suffisantes pour former avec l'air un mélange détonant au contact d'un corps en ignition.

Le point d'inflammabilité des essences, étant extrêmement bas, ne peut être pris.

Le point de combustion est la température à laquelle l'huile, en présence d'air, prend feu et continue à brûler.

De nombreux appareils permettent ces mesures. On distingue :

Les appareils à coupe ouverte ;

Les appareils à coupe fermée ;

Ces derniers ne donnent que les points éclairs (inflammabilité).

*Méthode Marcusson* (coupe ouverte). — L'huile est placée dans un creuset de porcelaine ayant deux traits circulaires. On remplit jusqu'au trait supérieur pour les huiles légères et seulement jusqu'à l'inférieur pour les huiles lourdes. Un thermomètre plonge dans l'huile. Le creuset est enfoncé dans un bain de sable que l'on chauffe de façon à avoir une augmentation de 3° par minute. De 30 en 30 secondes on promène une flamme de la grosseur d'un pois à 2 mm au-dessus du creuset. On note la température à laquelle apparaît une flamme fugitive accompagnée d'une légère explosion (inflammabilité) et la température à laquelle l'huile brûle pendant cinq secondes (combustion).

*Méthode Luchaire* (coupe fermée). — L'huile est placée dans une capsule en cuivre jusqu'à un épaulement circulaire. Cette capsule est emboîtée dans une autre remplie d'huile de colza et qui peut être fermée par un couvercle percé d'une ouverture pour le passage du thermomètre, d'une petite cheminée et de deux trous d'aération. La vitesse de chauffe est de 3 degrés par minute. Une veilleuse, ayant une flamme de la grosseur d'un pois, est placée au-dessus de la cheminée. Sa flamme s'allonge brusque-

ment, puis, parfois, s'éteint en même temps que retentit une petite explosion (température d'inflammabilité).

*Méthode Pensky-Martens* (coupe fermée). — Un vase en laiton contenant l'huile est placé à l'intérieur d'une masse métallique. Le couvercle porte un thermomètre et un double agitateur pour l'huile et les vapeurs ; il est percé d'ouvertures obstruables par un obturateur à rotation. L'élévation de température est de 3° par minute. A partir d'un degré thermométrique inférieur de 20° à celui prévu pour l'inflammation, on ouvre de trente en trente secondes l'obturateur — cette manœuvre introduit dans le vase une veilleuse — et on note la température d'inflammation. Durant l'opération, l'agitateur doit être maintenu en rotation sauf lorsque l'obturateur est ouvert.

**Essais de distillation.** — Ces essais donnent des indications pour la conduite du raffinage et sur la valeur des produits obtenus.

*Appareil d'Engler.* — 100 cm<sup>3</sup> de liquide à distiller sont placés dans un ballon d'Engler (ballon en verre de 130 cm<sup>3</sup>, muni d'une tubulure latérale faisant avec le col un angle de 70°). Un thermomètre, maintenu dans le col par un bouchon, a son réservoir à hauteur de la tubulure. Le ballon est suivi d'un réfrigérant de Liebig. Les produits distillés sont recueillis dans des éprouvettes graduées.

La distillation doit commencer cinq à dix minutes après le début du chauffage et doit se faire à la vitesse de 2 gouttes-seconde.

Le fractionnement se fait, soit de 10 en 10 cm<sup>3</sup>, en notant les températures limites, soit en mesurant les pourcentages passant entre deux températures données.

*Appareil Luynes-Bordas* (fig. 39). — Cet appareil, — appareil officiel des Douanes françaises, — comprend une chaudière en cuivre, dont le col est fermé par un bouchon à vis traversé par un thermomètre et un réfrigérant constitué par un tube plat en cuivre plongeant dans une enveloppe cylindrique remplie d'eau.

La chaudière varie suivant que l'on distille des produits légers

(A) ou des produits lourds (B). Un brise-mousse est prévu pour ces derniers.

Pour les essences et les pétroles lampants la chaudière A est remplie de 500 cm<sup>3</sup> — avec thermomètre non plongeant pour les premières et plongeant pour les secondes. La distillation doit se produire quinze minutes après le début de l'opération et doit se continuer à une vitesse de 12 cm<sup>3</sup>-minute.

Pour les huiles lourdes, la chaudière B à couvercle amovible est remplie par 300 cm<sup>3</sup> avec thermomètre plongeant. Le fractionnement se fait soit en degrés, soit en centimètres cubes comme précédemment.

L'essai de distillation permet de reconnaître l'origine d'un pétrole brut par l'étude de sa courbe d'origine. En abscisse, on note la température moyenne d'une fraction et, en ordonnée, sa densité. Les huiles ayant des courbes identiques sont considérées comme ayant la même origine.

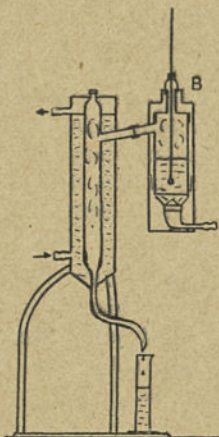


Fig. 39. — APPAREIL LUYNE-BORDAS monté avec la chaudière B.

**Vaporisation. Perte au feu.** — Cet essai intéresse seulement les produits peu volatils : huiles de graissage, résidus, brai.

**Méthode U. S. E.** — On verse 150 g d'huile dans un bécber de 60 mm de diamètre et de 100 mm de hauteur, on chauffe dans une étuve à 100° pendant cinq heures et on note la diminution de poids.

**Chaleur spécifique.** — La chaleur spécifique est d'une utilité incontestable pour l'établissement des divers appareils de traitement thermique des huiles.

Elle peut se calculer à partir de la composition. On



divise le pourcentage de chaque élément par le poids atomique, on multiplie le chiffre ainsi trouvé par la chaleur atomique, on fait la somme de ces termes que l'on divise par 100. (Voir *Propriétés physiques*, p. 28.)

Elle peut s'obtenir directement par le calcul de l'élévation de température de l'huile lorsqu'on lui fournit une quantité connue de chaleur (combustion à l'intérieur d'une bombe d'une substance connue ou passage d'un courant électrique).

**Chaleur de vaporisation.** — La chaleur de vaporisation intervient dans tous les calculs d'appareil de distillation et de condensation.

Pour calculer la chaleur latente, on utilise la loi de Trouton.

$$C_v = 22 \frac{T}{M}$$

( $C_v$  : chaleur de vaporisation. —  $T$  : température d'ébullition moyenne. —  $M$  : poids moléculaire moyen).

La température d'ébullition est prise à l'appareil d'Engler par fractionnement de 10 en 10 cm<sup>3</sup>. C'est la moyenne arithmétique des températures d'ébullition de chaque fraction.

Le poids moléculaire moyen est obtenu par cryoscopie dans le camphre. On note la température de solidification du camphre pur et celle, plus basse, du camphre contenant quelques dixièmes d'huile.

$$M = \frac{100 Kq}{St}$$

( $q$  : poids de l'huile. —  $S$  : poids du camphre. —  $K$  : constante cryoscopique. —  $t$  : abaissement de température).

Le camphre fond à 159° et a une constante de 400.

Poids moléculaire moyen de :

	P. M.
Essence 200° .....	120
Lampant 200°-260° .....	165
Gas oil 260°-310° .....	250
Huile machine 310°-320° .....	420
Huile cylindre 320°-330° .....	475
Brai .....	720

**Pouvoir calorifique.** — Le pouvoir calorifique peut être calculé à partir de l'analyse élémentaire. Le pouvoir calorifique supérieur est :

$$Q = aC + bH + cS - pO$$

(C : teneur en carbone. — H : teneur en hydrogène. — S : teneur en soufre. — O : teneur en oxygène. —  $a, b, c$  : chaleur de combustion de C, H, S. —  $p$  : coefficient compris entre 18 et 42 selon les auteurs).

Les chaleurs de combustion des éléments sont :

C .....	8 100 calories
H .....	34 250 —
S .....	2 250 —

On passe du pouvoir calorifique supérieur au pouvoir inférieur par la formule approchée :

$$Pc \text{ inf.} = Pc \text{ sup.} - 53H$$

H : teneur en hydrogène.

Un pouvoir calorifique ainsi calculé est entaché d'une certaine erreur. Les mesures exactes se font à la bombe (Mahler-Fery).

*Bombe Fery.* — La mesure est très simple avec cet appareil qui ne comporte pas de calorimètre. On mesure l'élévation de température de la paroi de la bombe, élévation considérable par suite de la faible capacité calorifique du métal, au moyen d'une pince thermo-électrique.

## CHAPITRE VII

### EMPLOIS

---

Les emplois des dérivés du pétrole sont considérables. Les Anciens utilisaient l'huile qu'ils recueillaient pour graisser les roues de leurs chariots et pour soigner leurs animaux et eux-mêmes. L'emploi dans les lampes était moins répandu. Le premier emploi moderne fut l'éclairage par le pétrole lampant ou kérosène. L'apparition des moteurs à essence et de la lumière électrique transforma l'industrie pétrolifère en portant toute son attention sur l'essence. Actuellement, il n'existe aucun produit ou sous-produit inutilisable.

### COMBUSTIBLE

**Moteurs**<sup>1</sup>. — *Essence*. — Le principal emploi des huiles minérales est, sous la forme essence, la combustion dans les moteurs à explosion (où, malgré leur nom, il ne se produit pas d'explosions en service normal).

La consommation de l'essence croît constamment par suite de la diffusion de l'automobile et, pour satisfaire aux demandes, il faut recourir au cracking. Le rendement moyen d'un brut en essence est de 10 p. 100 par emploi unique de la distillation ; il atteint maintenant 35 à 40 p. 100 par cracpage de certains sous-produits.

---

1. Pour une étude approfondie, nous renvoyons aux deux livres de M. MARCOTTE parus dans la même collection : *Moteurs à explosion*, *Moteurs à combustion*.



Suivant leur volatilité, les essences sont classées de la façon suivante :

Aviation : extra...	95 p. 100 doivent passer avant	125°
— moyenne	— — —	145°
Tourisme . . . . .	— — —	175°
Poids lourd . . . . .	— — —	205°

Leur pouvoir calorifique inférieur est d'environ 10 800 millithermies. Elles doivent être incolores, sans odeur désagréable, sèches, neutres<sup>1</sup>.

*Kérosène.* — Certains moteurs agricoles utilisent comme carburant, le pétrole lampant. Le démarrage doit alors se faire à l'essence. Son emploi est avantageux au point de vue de l'économie et de la sécurité (point éclair élevé).

Le pétrole lampant doit être incolore ou très légèrement ambré, dépourvu d'impuretés (eau, huile de schiste) et de produits sulfurés ; il doit également être neutre.

La Marine Nationale française spécifie le kérosène :

Densité à 15° . . . . .	0,800-0,830
Inflammabilité Luchaire . . . . .	supérieure à 40°
Distillation Luynes-Bordas . . . . .	5 p. 100 au-dessous de 150°
	5 p. 100 au-dessus de 275°
Pouvoir calorifique inférieur . . . . .	10 500 millithermies.

*Gas oil.* — Les moteurs à combustion (Diesel) utilisent le gas oil comme combustible. Ces produits sont spécifiés par la Marine Nationale de la façon suivante :

Densité . . . . .	0,860-0,895
Inflammabilité . . . . .	supérieure à 60°
Pouvoir calorifique . . . . .	supérieur à 10 500 mts
Teneur en soufre . . . . .	inférieure à 0,75 p. 100
Distillation . . . . .	90 p. 100 avant 350°
Fluidité Barbey à 35° . . . . .	supérieure à 300.

1. Il arrive parfois que l'essence soit falsifiée au moyen d'huile de schiste. Agitée pendant cinq minutes avec du bichromate de potasse et de l'acide sulfurique, elle donne une coloration verte dans le cas de cette fraude.

Il ne doit pas contenir d'impuretés, ni donner des cendres.

**Chauffe au mazout** (fig. 40). — Le résidu de la première distillation est un combustible remarquable pouvant remplacer la houille dans toutes ses applications. Son pouvoir calorifique est de 10 500 millithermies

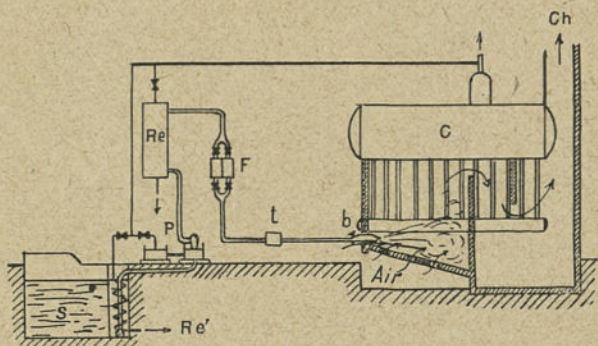


Fig. 40. — CHAUFFE AU MAZOUT.

S, soute. — Ré, réchauffeur. — P, pompe. — F, filtre. — t, thermomètre. — b, brûleur. — C, chaudière. — Ch, cheminée.

(houille 8 800 millithermies). Il est très peu cendreux et ne donne presque pas de fumée. Le réglage de la chauffe est aisé et ne demande aucune dépense physique (diminution de la main-d'œuvre). La manutention de ce combustible est extrêmement facile. Malheureusement, il est cher et, par suite, son emploi n'est vraiment intéressant que pour les chaudières des bateaux ou dans les pays dépourvus de houille, mais riches en pétrole.

Le mazout ne peut être brûlé tel quel dans un foyer, il doit être pulvérisé ou atomisé dans des brûleurs. Le dosage avec l'air doit être aussi parfait que possible, afin

d'obtenir le meilleur rendement et une absence presque totale de fumée. Ce dosage s'effectue par réglage des brûleurs et des dispositifs d'introduction d'air.

Le mazout provenant des soutes passe d'abord dans un réchauffeur afin de se fluidifier suffisamment pour se bien pulvériser. Une batterie de deux filtres élimine les diverses impuretés contenues — un filtre est en circuit pendant le nettoyage de son voisin.

Dans les brûleurs, la pulvérisation se fait soit par injection d'air ou de vapeur, soit mécaniquement. Ce dernier procédé est le plus répandu. Le résidu arrive sous une pression de 10 kg dans des canaux hélicoïdaux inclinés sur l'axe du brûleur, et forme à sa sortie un cône (fig. 41).

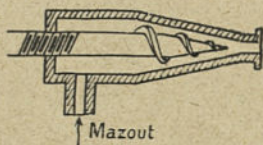


Fig. 41. — BRÛLEUR  
KœRTING.

On ne doit pas dépasser un débit de 350 kg-heure par brûleur ; et lorsque la puissance de l'engin à chauffer nécessite une consommation plus considérable, il faut augmenter le nombre des brûleurs. La combustion de 1 kg de mazout nécessite 20 m<sup>3</sup> d'air. Le mélange air-mazout se fait dans la boîte à feu ou dans un caisson la précédant.

D'après la Marine nationale, les caractéristiques de résidus employés dans le chauffage sont :

Densité à 15° .....	0,890-0,960
Point de congélation <sup>1</sup> .....	inférieur à — 5°
Inflammabilité Luchaire .....	supérieure à 79°
Fluidité Barbey à 35° .....	supérieure à 7
Soufre .....	inférieur à 0,75 p. 100
Eau .....	inférieure à 1 p. 100
Pouvoir calorifique .....	10 500 millithermies.

### ÉCLAIRAGE

**Kérosène.** — Le pétrole lampant est encore utilisé pour l'éclairage, surtout dans les campagnes et dans les feux de signalisation (phares éloignés des côtes).

1. Effectué suivant la méthode de la Marine



Le kérosène par suite de son point éclair supérieur à 35° ne présente pas de grands dangers d'incendie. Il ne doit pas contenir d'éthers sulfuriques (provenant du raffinage) ; ces produits sont cause de la carbonisation des mèches et répandent dans l'atmosphère des vapeurs sulfuriques.

*Recherche et dosage des éthers sulfuriques.* — Le kérosène mélangé à de l'aniline est chauffé à 140°. Les éthers sulfuriques donnent un précipité de sulfate d'aniline que l'on filtre et dissout dans l'eau. Le soufre est dosé dans la solution en  $\text{BaSO}_4$ .

*Paraffine.* — Mélangée à de la stéarine<sup>1</sup>, la paraffine est utilisée dans la préparation des bougies.

### SOLVANT

Les essences sont également utilisées comme solvant (nettoyage, extraction, fabrication des vernis).

L'essence très volatile (distillant avant 110°) est utilisée dans le nettoyage des fibres végétales et animales, ainsi que dans celui des surfaces métalliques. Elle sert également dans l'industrie des vernis ; le vernis ainsi obtenu est fluide, très siccatif et, après évaporation, très brillant ; le solvant est récupérable lors du séchage. Ce corps est le solvant le moins cher, mais il est aussi le plus dangereux.

On se sert également de certaines essences lourdes — white spirit, — et du kérosène pour l'extraction du suint des laines.

### GRAISSAGE

Nous avons vu les principes théoriques de la lubrification ou graissage. Tout appareil comportant deux pièces

---

1. La stéarine est un mélange d'acide gras où domine l'acide stéarique, acide saturé en  $\text{C}_{18}$ . La stéarine est obtenue par saponification de la graisse des ruminants.

frottant l'une sur l'autre doit être lubrifié, sinon il résulterait une destruction rapide des surfaces, et des grippements. Tels sont les paliers, les glissières, les cylindres des machines à vapeur, des moteurs thermiques et des compresseurs, les roulements, etc.

**Paliers et glissières.** — Les paliers porteurs sont destinés à supporter un arbre animé d'un mouvement de rotation. Les paliers de butée doivent résister aux efforts longitudinaux exercés par l'extrémité d'un arbre: Les glissières maintiennent en ligne droite le déplacement d'un organe mobile.

Par interposition entre les deux surfaces de billes ou de rouleaux, on transforme le frottement de glissement en frottement de roulement beaucoup plus petit.

Les paliers lisses ne sont pas exactement ajustés, mais comportent un très faible jeu. A l'arrêt, l'arbre repose sur son support, pendant la marche il s'en écarte et tend à rouler; il forme ainsi un coin d'huile.

Les paliers lisses sont munis de cannelures facilitant la distribution de l'huile partout où elle est nécessaire. Elle doit être introduite dans la zone où la pression est la plus faible: au point bas, pour les charges dirigées de bas en haut, au point haut dans le cas contraire. Lorsque le sens de la charge présente des fluctuations alternatives, l'introduction de l'huile peut se faire par n'importe quel point.

Dans le cas de paliers de grandes dimensions, plusieurs orifices de graissage doivent être prévus.

Le graissage peut se faire à la main au moyen d'une burette. Ce procédé n'est pas recommandable; l'huile, en excès après le passage du graisseur, n'est plus, au bout d'un certain temps, en quantité suffisante pour assurer une bonne marche, et, de plus, peut être souillée.

Les graisseurs à bouteilles ne fonctionnent que pendant la marche; l'huile s'écoulant seulement lorsqu'une tige métallique animée d'un très faible mouvement alternatif, produit par la rotation de l'arbre, fait pénétrer de l'air à l'intérieur de la bouteille. La quantité d'huile qui s'écoule ainsi augmente avec la vitesse.

Dans les graisseurs à mèches, type « siphon », l'huile contenue dans un réservoir s'en échappe par capillarité le long d'une mèche de laine et vient tomber goutte à goutte sur les pièces à lubrifier. La vitesse de rotation n'influe aucunement sur le débit qui ne cesse pas à l'arrêt.



Dans un type de graisseurs analogue, l'huile monte par capillarité le long de rotins ou de mèches et son débit, nul au repos, croît avec la vitesse.

Les graisseurs à compte-goutte sont constitués par un réservoir d'où l'huile s'écoule au travers d'un orifice muni d'un pointeau. Ils ne sont pas automatiques, mais peuvent être aisément arrêtés par enfoncement du pointeau.

La lubrification des paliers se fait également par bagues. Celles-ci, d'un diamètre très supérieur à celui de l'arbre, reposent sur ce dernier et plongent par leur partie inférieure dans un bain d'huile. Entraînées par la rotation de l'arbre, elles entraînent, à leur tour, l'huile qui se répand sur les pièces à graisser. Ce système, complètement automatique, crée une circulation du lubrifiant excellente pour éliminer la chaleur.

Le graissage des paliers enfermés dans un carter (manivelle de machine thermique ou de compresseur) se fait par barbotage. L'huile projetée par la tête-de-bielle sur les glissières et le pied-de-bielle, les lubrifie avant de retomber dans le carter.

La lubrification de certains paliers se fait par circulation d'huile (turbines à vapeur). L'huile est filtrée et refroidie avant de retravailler. Par ce procédé, le dégagement de chaleur dû aux vitesses de rotation considérables de ces machines est complètement dispersé. L'huile s'use peu à peu et, pour maintenir constantes ses propriétés, on la renouvelle par portions successives.

**Cylindres.** — Les cylindres verticaux sont le plus souvent graissés par les projections d'huile résultant du barbotage de la tête-de-bielle. On peut également introduire l'huile sous pression à travers les parois du cylindre ou au travers du piston (elle circule auparavant dans un conduit logé dans le vilbrequin et la bielle). L'huile ruisselle le long des parois et retourne au carter d'où elle est reprise par la tête-de-bielle ou la pompe.

Les cylindres horizontaux sont lubrifiés sous pression.

Dans les machines à vapeur, le graissage se fait très facilement en pulvérisant l'huile dans la conduite de vapeur amont.

Le lubrifiant se trouve, dans le graissage des cylindres de moteurs thermiques, soumis à des conditions toutes particulières; l'huile, par suite de la haute température ambiante, est décomposée et partiellement brûlée. Il y a dépôt de charbon encrassant les divers organes (calamine).

**Trains d'engrenages.** — La lubrification des trains d'engrenages est réalisée en plongeant le train dans un bain d'huile ou



en envoyant sur les dents qui vont entrer en prise un jet d'huile sous pression.

**Huiles de graissage.** — La nature de l'huile à employer dans le graissage d'un appareil est fonction du travail à accomplir — charge, vitesse — et de la température de fonctionnement.

La viscosité de l'huile doit être d'autant plus grande que la vitesse est plus faible, la charge et la température plus élevées.

Le graissage est d'autant plus sûr que l'huile est plus visqueuse, mais, en même temps, le travail absorbé par le frottement interne du lubrifiant est plus considérable. Il faut rester dans un juste milieu, ne pas utiliser une huile trop légère, source d'accidents, ni une trop lourde, source de pertes.

Une huile de graissage bien raffinée est limpide et transparente. Malgré certains préjugés, la couleur n'a aucune influence sur la qualité. On utilise parfois des huiles non raffinées, noires, pour le graissage de cylindres à vapeur.

Les teneurs en eau, impuretés et cendres doivent être nulles, ainsi que l'acidité minérale. On tolère une acidité organique ne dépassant pas 0,1 p. 1000 exprimée en acide oléique.

**Huiles à broches.** — Les huiles à broches dont la viscosité est comprise entre 5° et 15° Engler à 20°, servent à la lubrification des transmissions légères, — machines à coudre, bicyclettes, petites centrifugeuses, petits moteurs électriques, machines textiles.

Les roulements à billes ou à rouleaux sont lubrifiés au moyen d'huile très peu visqueuse (3° à 5° Engler à 20°). Le rôle du lubrifiant est plutôt d'éviter l'attaque des surfaces métalliques.

La température de congélation de ces huiles est très basse, sauf dans le cas où elles sont paraffineuses. Les points d'inflammabilité sont supérieurs à 150° à l'appareil Luchaire.

*Huiles à machines.* — Les huiles à machines légères, de viscosité variant entre 15 et 25° Engler à 20°, conviennent au graissage des moteurs électriques et des centrifugeuses de moyenne puissance, ainsi qu'aux transmissions tournant à grande allure.

Les huiles à machines lourdes — 25 à 50° Engler à 20° — servent à la lubrification des machines et transmissions puissantes ou d'allure lente et à celle des cylindres de compresseur.

Leur température de congélation est encore inférieure à 0°.

Le point d'inflammabilité dépasse 180°.

*Huiles à cylindres.* — Le graissage des cylindres de machines à vapeur se fait au moyen d'huiles dont la viscosité est d'autant plus grande que la température de la vapeur est plus élevée. Cette viscosité est comprise entre 3° et 10° Engler à 100° C.

On fait également usage d'huiles non raffinées, mais seulement filtrées.

La température de congélation n'importe plus beaucoup ; mais, pour des raisons de sécurité, la température d'inflammabilité doit être supérieure à celle de la vapeur : cette précaution est inutile, vu l'absence de toute flamme à l'intérieur du cylindre.

La teneur en asphalte des huiles noires ne doit pas dépasser 1 p. 100.

*Huiles à machines frigorifiques.* — On fait usage, dans les machines frigorifiques, d'huiles à broche de visco-

sité 5 à 20° dont la température de congélation est très basse, inférieure à - 20°. A cette température, la viscosité est considérable.

*Huiles à turbines.* — La lubrification des paliers de turbine se fait au moyen d'huiles à machines légères, lavées à la vapeur, séchées et filtrées sur de la terre adsorbante. Ce traitement a pour but de rendre l'huile très peu émulsionnable, afin que les conduites de circulation ne s'engorgent pas, et que le graissage soit normal, même dans le cas où l'huile serait agitée en présence de vapeur ou d'eau chaude.

Deux essais permettent de se rendre compte de la tendance à l'émulsion.

*Essai Herschell.* — Cet essai s'effectue à température constante, le plus souvent 80°. On verse dans une éprouvette graduée 40 cm<sup>3</sup> d'huile et 40 cm<sup>3</sup> d'eau distillée — mesurés à la température de l'essai. Les deux liquides sont intimement mélangés par une palette tournant à 1 500 tours-minute. Après dix minutes d'agitation, on retire la palette. L'éprouvette est alors remplie d'une émulsion laiteuse. On note la quantité d'eau séparée en un temps donné, généralement une heure.

La séparation doit être totale.

*Essai A. S. T. M., R. E., Test.* — Une éprouvette graduée, contenant 20 cm<sup>3</sup> de l'huile à essayer, est placée dans un bain froid, de température comprise entre 15 et 20°. On injecte alors dans l'huile de la vapeur de façon que le volume, eau condensée + huile, soit compris entre 37 et 43 cm<sup>3</sup> après un barbotage de quatre minutes à six minutes et demie. Aussitôt l'injection finie, on plonge l'éprouvette dans un bain chaud (90°) et on note le temps en secondes que mettent à se séparer les 20 cm<sup>3</sup> d'huile.

La durée de séparation doit être inférieure à soixante secondes.

*Huiles à moteurs.* — Les moteurs thermiques sont graissés au moyen d'huiles de viscosité à 50° C. comprise entre 8° et 16° Engler. Leur point d'inflammabilité



doit être assez bas de façon à éviter l'encrassement résultant d'une combustion incomplète. Une huile aura d'autant moins tendance à charbonner que sa teneur en goudron et son indice de carbonisation seront plus faibles.

*Indice de carbonisation ou indice de Conradson.* — Un poids connu d'huile est placé dans un creuset taré, en porcelaine, reposant sur le fond d'un creuset en fer. Ce dernier est lui-même placé sur une couche de sable à l'intérieur d'un autre creuset en fer. Les deux récipients métalliques sont fermés par des couvercles. L'ensemble, surmonté d'une cheminée, est placé sur un trépied de forme spéciale au-dessus d'un brûleur à gaz.

Des vapeurs doivent commencer à se dégager après cinq à sept minutes de chauffage, et à s'enflammer au bout d'un quart d'heure. Il faut alors régler le chauffage de façon à ce que les flammes ne dépassent pas de plus de 4 cm le haut de la cheminée. Après disparition des flammes, on continue à chauffer pendant cinq minutes.

L'appareil, après refroidissement, est démonté, le creuset de porcelaine repesé ; la différence de poids, avant et après, donne la quantité de coke correspondant au poids de l'huile. Les résultats s'expriment en pour cent.

*Huiles compoundées.* — Les huiles minérales sont parfois coupées au moyen d'huiles grasses de façon à améliorer leur pouvoir lubrifiant. On utilise ainsi les huiles d'arachide, colza, coprah, lin, navette, olive, palme, ricin.

*Dosage des huiles grasses.* — L'huile est saponifiée une heure à l'ébullition par de la potasse alcoolique en présence de benzène<sup>1</sup>. On étend ensuite d'eau de façon à ramener le titre de l'alcool à 50°, puis on reporte à l'ébullition. Le produit ainsi obtenu est dilué avec de l'éther de pétrole, puis versé dans une ampoule à décanter. Il y a séparation d'une couche alcoolique contenant les savons et d'une couche étherée contenant l'insaponifiable. Cette dernière, après décantation de la couche alcoolique, est lavée à l'alcool à 50 p. 100, puis séchée et pesée. On a

1. La saponification se fait dans un ballon surmonté d'un réfrigérant à reflux.

ainsi la quantité d'huile minérale contenue dans l'essai, par différence on a l'huile grasse.

Il est également possible de faire la teneur en huile grasse en effectuant l'indice de saponification du coupage. L'indice de saponification est le nombre de milligrammes de KOH absorbés par la saponification de 1 g d'huile grasse. On prend comme indice de saponification moyen 185.

$$\frac{IS}{185} = G$$

(IS : indice de saponification trouvé. — G : teneur en huile grasse.)

*Dosage de l'huile de ricin.* — L'huile de ricin se dose en effectuant l'indice d'acétyl du mélange. L'indice d'acétyl est le nombre de milligrammes de soude nécessaires à la neutralisation de l'acide acétique libéré par 1 gr d'huile après traitement de celle-ci à l'anhydride acétique. L'indice d'acétyl de l'huile de ricin est de 150.

*Graisses.* — Les graisses sont des mélanges consistants à base d'huile minérale, de savons, d'acide gras, d'huiles grasses et de lubrifiants solides (la charge — talc, graphite, mica), utilisés pour le graissage des transmissions très puissantes et lentes (laminoirs) ou des appareils où l'huile ne peut convenir par suite de sa fluidité.

Les savons ordinairement employés sont à base de chaux. Les huiles grasses sont le plus souvent les huiles de palme, de colza, de maïs, l'oléine et le suif.

*Essai des graisses.* — L'acidité organique exprimée en acide oléique donne la teneur en acide gras.

Le pourcentage d'huiles grasses est obtenu par l'indice de saponification ; il faut, du reste, déduire les acides gras, qui se sont également saponifiés au cours de l'essai.

La teneur en savons (exprimée en acides gras des savons) correspond à l'augmentation de l'acidité après traitement à l'acide chlorhydrique et lavage jusqu'à disparition de toute trace d'acidité minérale.

La charge s'obtient par pesée après dissolution complète dans le benzène et l'alcool.

*EMPLOIS ÉLECTROTECHNIQUES*<sup>1</sup>

L'industrie électrique utilise certaines huiles de graissage légères dans les transformateurs et disjoncteurs, après un raffinage assez poussé.

L'huile a un double rôle dans les transformateurs ; par son haut pouvoir diélectrique, elle constitue un excellent isolant ; par sa conductibilité calorifique, elle sert de véhicule à la chaleur dégagée par les pertes dans le fer (circuit magnétique) et dans le cuivre (circuit électrique) pendant la marche.

Dans les disjoncteurs l'huile sert à couper l'arc amorcé au moment de la rupture.

Le transformateur est plongé dans un bac en tôle rempli d'huile. Par suite de l'échauffement qu'elle subit, elle tend à monter au haut du bac et à redescendre le long des parois en se refroidissant. Cette circulation augmente avec la température<sup>2</sup>.

Dans les grosses unités le refroidissement de l'huile peut se faire par circulation d'eau dans un serpentín immergé au-dessus du transformateur. Dans ce cas s'il se produit une fuite l'appareil est immédiatement mis hors service. On préfère de beaucoup refroidir l'huile par circulation dans un réfrigérant extérieur au bac. En donnant à l'huile une pression supérieure à l'eau, on ne peut pas risquer d'introduire de l'eau. Par ce dernier procédé, l'exploitant peut régler au degré voulu la température de l'huile.

Les huiles pour transformateurs ne doivent pas avoir tendance à s'oxyder ou à se résinifier<sup>3</sup>, — transformations

---

1. Après filtration à chaud sur de la terre décolorante les huiles très visqueuses (huiles cylindre) peuvent être utilisées comme isolant dans les câbles électriques et les boîtes de jonction.

2. En aucun cas la température de l'huile ne doit dépasser 90°.

3. Pour éviter l'oxydation de l'huile on peut remplir complètement la cuve du transformateur et lui joindre une chambre d'expansion ; ainsi seule l'huile froide de la chambre sera en contact avec l'air. Le même résultat est obtenu en surmontant l'huile d'une atmosphère inerte (gaz carbonique-azote).



du reste catalysées par le cuivre des conducteurs. Les conditions de réception des huiles de transformateurs imposées par l'U. S. E. (Union des syndicats de l'électricité) peuvent être regardées comme caractéristiques d'une bonne huile.

1° Densité à 15° comprise entre 0,85 et 0,92.

2° Viscosité Engler : à 20°, inférieure à 8 ; à 50°, inférieure à 2,5.

3° Point d'inflammabilité<sup>1</sup> supérieur à 160° ; point de combustion supérieur à 180°.

4° Point de congélation égal ou inférieur à — 5°.

5° Pertes par évaporation inférieures à 0,2 p. 100.

6° Poids du dépôt soluble dans le tétrachlorure de carbone après chauffage de :

5 heures à 150° : 0.

50 heures à 150° : traces.

125 heures à 150° : inférieures à 0,15 p. 1000.

7° Indice de décoloration après chauffage de :

5 heures à 150° : environ 0,6.

50 heures à 150° : environ 16.

8° Acidité : inférieure à 0,02 p. 100 en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

9° Alcalinité : 0.

10° Humidité : 0.

11° Tension d'éclatement : Entre sphères de 12,5 mm de diamètre écartées de 5 mm : supérieure à 40 000 volts.

*Essai à la cuisson.* — L'huile est chauffée 125 heures à 150° dans une éprouvette de verre. Après 5 et 50 heures on prélève un échantillon. On détermine la teneur en dépôt, par filtration et lavage à l'essence, des essais après 5, 50 et 125 heures.

En même temps, on effectue l'essai de décoloration. L'huile cuite est étendue d'alcool amylique jusqu'à obtention de la coloration de l'huile initiale. L'indice de décoloration est le rapport du volume d'alcool amylique au volume d'huile.

La valeur de cet essai n'est pas considérable par suite de la trop grande élévation de la température.

---

1. Demandé par suite de l'éclatement d'étincelles soit par coupure du circuit (disjoncteurs) soit par court-circuit.

*Essai suisse.* — On cuit un litre d'huile dans un récipient en cuivre pendant 336 heures (deux semaines) à 115° (température de service + 25°). Deux baguettes de verre entourées par un fil de coton sont placées dans le récipient.

Après 188 heures (une semaine) on prélève un échantillon de l'huile et une baguette.

On détermine la teneur en dépôt, l'acidité de l'huile et la résistance du fil de coton, avant et après cuisson de 168 et 336 heures.

La teneur en dépôt est obtenue par repos, filtration et lavage à l'éther de pétrole. L'acidité se mesure à la potasse décinormale avec, comme indicateur, l'alcali 6 B. La résistance du fil de coton est déterminée au dynamomètre.

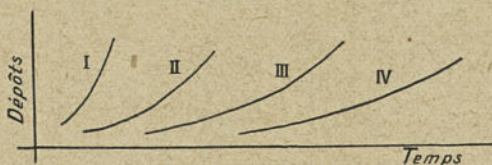


Fig. 42. — COURBE DES DÉPÔTS EN FONCTION DE LA DURÉE DE CUISSON.

Les résultats sont donnés en pour cent de dépôt, en indice d'acidité et en pour cent de diminution de résistance du fil.

*Essai B. B. C.* (Brown Boveri et Co). — Cet essai est analogue au précédent ; la cuisson dure 300 heures avec échantillonnage après 100 et 200 heures ; la température est de 120° ; le fil de coton est enroulé sur des baguettes de cuivre.

*Essai Weiss-Salomon.* — Dans cette méthode toute récente l'huile, placée dans une éprouvette en verre de forme spéciale, est cuite à 110° en présence d'une spirale de cuivre jusqu'à apparition d'un dépôt. Celui-ci est dosé par filtration et lavage. On détermine également l'acidité par titrage à la phénolphthaléine. Un deuxième essai de durée double de celle du premier est effectué ainsi qu'un troisième de durée triple... jusqu'au sixième.

On trace la courbe des dépôts en fonction de la durée de cuisson (fig 42).

Suivant la durée de la première période, les huiles sont classées en :

Huiles très altérables, première période inférieure à 10 heures (courbe 1).

Huiles moyennement altérables, première période comprise

entre 10 et 24 heures avec dépôt supérieur à 8 mmg par 100 cm<sup>3</sup> d'huile (courbe 2).

Huiles peu altérables ; première période comprise entre 15 et 24 heures avec dépôt inférieur à 8 mmg par 100 cm<sup>3</sup> d'huile (courbe 3).

Huiles très peu altérables, première période supérieure à 36 heures (courbe 4).

*Tension d'éclatement.* — La tension d'éclatement se mesure au moyen d'un spintéromètre, éclateur à boules de 12,5 mm de diamètre qu'une vis micrométrique permet d'éloigner ou de rapprocher. La distance entre les deux électrodes est de 5 mm. On applique entre les bornes du spintéromètre une tension croissante, lisible sur un voltmètre, et on note celle correspondant à l'éclatement d'une étincelle.

La rigidité est dans ce cas le quotient par 5 de la tension d'éclatement.

### EMPLOIS PHARMACEUTIQUES

**Pétrole brut.** — Absorbé dans des capsules, le pétrole brut combat la lithiase biliaire et les affections des bronches et des poumons. En friction il sert contre la gale.

**Vaseline.** — La vaseline est le résidu de l'évaporation lente des huiles de graissage légères. Elle est raffinée très soigneusement et blanchie par adsorption au noir animal ou à la terre décolorante.

C'est un excipient remplaçant l'axonge<sup>1</sup> dans presque tous ses usages. Par suite de l'absence de groupes actifs elle ne pénètre qu'assez peu l'épiderme, ce qui la rend inapte à composer les pommades destinées à combattre les affections profondes.

La vaseline adoucit la peau et guérit les engelures.

Elle doit être blanche, translucide, neutre et ne doit pas se colorer par action de l'acide sulfurique concentré chaud.

---

1. Graisse de porc.



**Huile de vaseline.** — L'huile de vaseline ou huile blanche, est une huile de graissage légère (huile à broche) surrafinée par traitement à l'oleum et complètement décolorée par adsorption. Malgré son nom, elle ne contient pas de paraffine, elle se solidifie du reste au-dessous de  $- 10^{\circ}$ .

L'huile de vaseline<sup>1</sup> est utilisée comme excipient, mais doit être exclue de la préparation des injections hypodermiques. Elle sert également comme laxatif.

L'huile blanche doit être incolore, inodore et sans saveur ; elle doit également être neutre et ne pas se colorer sous l'action de l'acide sulfurique concentré et chaud.

**Paraffine.** — On utilise parfois la paraffine pour corriger certaines difformités par injection après fusion dans le tissu intersticiel.

### USINAGE DES MÉTAUX

Dans l'usinage des métaux (tournage, fraisage, perçage, etc.), il faut

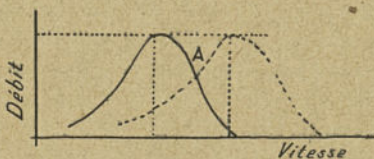


Fig. 43. — COURBE DU DÉBIT d'un outil en fonction de la vitesse de coupe ; trait plein sans lubrifiant, trait pointillé avec lubrifiant.

considérer le débit — quantité de matière enlevée entre deux affûtages de l'outil — et la vitesse de coupe.

Si nous traçons

la courbe du débit en fonction de la vitesse de coupe (fig. 43), nous constatons qu'il passe par un maximum pour une cer-

1. L'huile de vaseline sert également à frauder les huiles de bouche par suite de son prix plus bas.

taine vitesse dite de « moindre usure » et au-dessous de laquelle il est préjudiciable de descendre. Si le même travail est effectué avec lubrification de l'outil et de la pièce en usinage, nous obtenons une courbe analogue, mais, pour un même débit, la vitesse est le produit de la vitesse en travail sec par un coefficient dépendant du lubrifiant.

Dans le cas du travail lubrifié, pour les faibles vitesses il peut arriver que le débit soit plus faible qu'en travail sec (point A de la courbe). Il est donc absolument nécessaire d'augmenter la vitesse de coupe lorsqu'on passe du travail sec au travail lubrifié.

Outre ceci la lubrification refroidit l'outil et la pièce qu'il usine, entraîne les copeaux (cet entraînement est intéressant dans les forages profonds, l'huile est alors injectée sous une pression assez élevée) et augmente le fini du travail:

Les lubrifiants sont l'eau, l'eau savonneuse, les huiles grasses et les huiles minérales ayant subi une préparation adéquate.

La lubrification obtenue par l'eau, additionnée ou non de savon, est assez faible ; il n'en est pas de même pour les huiles grasses et minérales. Les premières ont l'inconvénient de rancir et de donner des dépôts. Parmi celles-ci l'huile de colza était une des meilleures.

Mélangées avec des savons de potasse — savons liquides — et émulsionnées avec de l'eau, les huiles de graissage légères constituent les huiles solubles. Les meilleurs résultats ont été obtenus par coupage de l'huile minérale au moyen d'une petite quantité d'huile de colza et dissolution de soufre.

La lubrification se fait par arrosage sous faible pression et grand débit. L'huile est recueillie, pompée, filtrée, puis remise en circulation.

*CONSTRUCTION DES ROUTES*

Les chaussées modernes sont pour la plupart recouvertes d'un enduit d'asphalte. Cet enduit est répandu à chaud, gravillonné puis cylindré ; il est plus simple de répandre à froid une émulsion d'asphalte et d'eau qui se rompt au contact de la route.

Les chaussées sont parfois exécutées au moyen de bétons asphaltiques obtenus par malaxage dans une bétonnière d'asphalte ou d'émulsion asphaltique avec les matériaux.

Le plus souvent cet asphalte ou bitume est obtenu par oxydation du brai, résidu de la distillation des huiles naphthéniques. L'oxydation se fait par insufflation d'air à haute température. L'asphalte se rencontre également dans la nature (voir page 176). Les boues vitrioliques consistantes après lavage et oxydation, conviennent aux revêtements routiers.

Pour la fabrication des émulsions, l'asphalte fluxé par des fuel-oils est émulsionné avec de l'eau par passage dans un homogénéiseur. On ajoute un stabilisant afin d'éviter avant emploi la rupture de l'émulsion. Ce stabilisant diminue la tension interfaciale bitume-eau. D'ordinaire, ces émulsions renferment 50 p. 100 d'eau.

La présence de paraffine est nuisible par suite de son inadhérence aux matériaux.

Les produits extraits du pétrole brut possèdent encore de nombreux usages ; sulfonées, certaines huiles conviennent au nourrissage des cuirs de chamoiserie ; la paraffine sert à préparer la toile et le papier ciré ; l'asphalte est utilisé comme revêtement imperméable à l'eau ; le coke convient parfaitement à la fabrication des charbons de lampes à arc et des balais de collecteur.



Outre ces emplois directs le pétrole est en passe de devenir une source extrêmement intéressante de produits chimiques. Les carbures aromatiques retirés de certaines huiles brutes donneront des matières explosives, colorantes, odorantes, pharmaceutiques et plastiques. Chlorés, presque tous les carbures fourniront des solvants inflammables et malheureusement des gaz de combat.

## CHAPITRE VIII

### PRODUCTION

---

La production des huiles minérales croît d'année en année plus rapidement qu'il ne serait utile. Cette course, si elle continue, ne fera que rapprocher le jour où l'huile aura disparu. En 1929, la production totale atteignait 1 486 410 000 barils<sup>1</sup>.

Quoique très répandu dans le monde, le pétrole n'est guère produit que par quelques pays. En 1929, les États-Unis, le Vénézuéla, l'U. R. S. S. et la Perse fournissaient les 87 p. 100 de la production totale, et de ces quatre pays les États-Unis, seuls, en donnaient 68 p. 100.

---

1. Le commerce du pétrole utilise le baril (abr. bbl) américain de 159 litres comme étalon.

Production du Pétrole (en milliers de barils).

	États-Unis	Vénézuela	U. R. S. S.	Pers.	Mexique	Indes néer- lanfais s.	Roumanie	Colombie
1859 .....	2	"	"	"	"	"	4	"
1863 .....	2 600	"	"	"	"	"	28	"
1874 .....	10 900	"	"	"	"	"	100	"
1883 .....	23 000	"	"	"	"	"	150	"
1893 .....	48 000	"	"	"	"	"	500	"
1903 .....	100 000	"	"	"	"	600	2 800	"
1913 .....	248 000	"	"	1 900	25 700	5 800	13 600	"
1919 .....	378 000	425	32 000	40 100	87 000	41 100	13 600	"
1920 .....	443 000	457	25 000	42 200	164 000	45 500	6 600	"
1921 .....	472 000	1 450	29 000	46 700	193 400	17 000	7 500	"
1922 .....	558 000	2 200	33 000	22 000	182 280	16 700	8 400	66
1923 .....	732 000	4 060	38 000	27 000	159 580	15 400	10 850	323
1924 .....	714 000	8 750	45 000	32 000	139 680	20 500	13 300	444
1925 .....	763 740	19 690	52 450	35 040	114 820	21 420	16 650	1 000
1926 .....	770 870	37 230	64 310	35 460	90 420	21 240	23 310	6 450
1927 .....	903 850	63 390	71 170	35 750	64 120	22 000	26 550	14 000
1928 .....	991 470	105 750	84 700	43 460	59 150	32 120	30 770	19 900
1929 .....	1 006 030	137 000	103 000	45 250	44 690	37 920	34 930	20 390
Pour 100 (1929).	67,62	9,20	6,92	3,03	3,00	2,54	2,34	1,37



## Production du Pétrole (en milliers de barils) (fin).

	Pérou	Trinité	Argentine	Indes anglaises	Sarawak	Pologne	Japon et Formose	Egypte
1859 .....	»	»	»	»	»	»	»	»
1863 .....	»	»	»	»	»	»	»	»
1874 .....	»	»	»	»	»	150	»	»
1883 .....	»	»	»	»	»	400	20	»
1893 .....	env. 20	»	»	300	»	700	100	»
1903 .....	300	»	»	2 500	»	5 200	1 200	»
1913 .....	2 100	500	150	7 900	150	7 800	1 900	100
1919 .....	2 600	1 840	1 300	8 700	600	6 100	2 200	1 500
1920 .....	2 800	2 080	1 660	8 400	1 000	5 600	3 200	1 000
1921 .....	3 700	2 350	2 060	8 700	1 400	5 200	2 200	1 300
1922 .....	5 310	2 440	3 020	7 700	2 800	5 200	2 000	1 200
1923 .....	5 690	3 050	3 400	7 600	3 900	5 500	1 700	1 000
1924 .....	7 920	4 060	4 700	8 100	4 200	5 600	1 900	1 100
1925 .....	9 160	4 560	5 820	8 000	4 260	5 960	2 000	1 230
1926 .....	10 760	5 280	7 950	8 730	4 940	5 840	1 900	1 190
1927 .....	10 500	5 380	8 190	8 000	5 000	5 000	1 700	1 270
1928 .....	12 000	7 680	9 070	8 740	5 220	5 490	1 940	1 840
1929 .....	13 400	8 810	8 800	8 470	5 280	4 950	2 010	1 860
P. 100 (1929) ..	0,90	0,59	0,59	0,57	0,35	0,33	0,13	0,10

## TABLEAU II

## Pétrole. Réserves mondiales.

(Estimations de l'U. S. A. Geolog. Survey, 1920.)

	Millions de bbls.
U. S. A. et Alaska .....	7 000
U. R. S. S. (Sud) et Sibérie.....	5 830
Perse et Mésopotamie .....	5 820
Mexique .....	4 525
Amérique du Sud :	
Partie Nord y compris le Pérou .....	5 730
Partie Sud y compris la Bolivie .....	3 550
Indes néerlandaises .....	3 015
Chine .....	1 375
Japon et Formose .....	1 235
Roumanie, Galicie, Europe occidentale ..	1 135
Indes anglaises .....	995
Canada .....	995
Algérie et Égypte .....	925
U. R. S. S. (Nord) et Sakhaline .....	925
Total .....	<u>43 055</u>

AMÉRIQUE <sup>1</sup>

Canada. — Le Canada est un petit producteur de pétrole.

1926.....	339 000 bbls.
1927.....	500 000 —
1928.....	624 000 —
1929.....	1133 000 —

Il comprend deux régions pétrolifères :

1° *La région occidentale*, avec des gisements dans l'Ontario (huile paraffineuse et riche en soufre, Pétrolia) et

1. Après avoir adopté pour le tableau la classification suivant la production, nous décrivons les pays pétrolifères dans un ordre géographique.

dans le New-Brunswick (huile excellente et gaz, Moneton). La production est en déclin.

2° *La région orientale*, avec des gisements dans l'Athabasca, l'Alberta, le Saskatchewan, le Mackenzie.

**États-Unis.** — Les États-Unis sont les plus gros producteurs d'huile. On compte sept régions pétrolifères.

1° *Appalaches* : États de New-York, Pensylvanie, West Virginia, Ohio, Kentucky, Tennessee. Cette région est un grand géosynclinal. Le pétrole se trouve dans des grès plissés dévoniens et carbonifères. L'huile paraffineuse, pauvre en asphalte, donne de grandes quantités d'essence et d'excellentes huiles de graissage.

Cette région est la plus anciennement exploitée et sa production décline. Le maximum a été atteint en 1900 avec 36 300 000 barils.

2° *Lima Indiana* : États d'Ohio (Nord-Ouest), Indiana (Est). Le pétrole se trouve dans le calcaire dolomitique silurien et carbonifère d'une série d'anticlinaux. L'huile est sulfureuse (0,75 p. 100 de S) et contient peu d'asphalte. La production de cette région est également en baisse. Le maximum a été atteint en 1906 avec 25 700 000 barils.

3° *Illinois* : États de l'Illinois et de l'Indiana (Sud-Ouest). Le pétrole se rencontre ici dans le grès carbonifère d'une série d'anticlinaux. Dans le nord de cette région, l'huile est asphaltique et sulfureuse, mais le soufre disparaît dans le Sud. Ce bassin est également en déclin et son maximum de production, 33 000 000 de barils, a été atteint en 1910.

4° *Mid continent* : États de Kansas, d'Oklahoma (Nord), Louisiane (Nord), Arkansas. Il n'y a pas d'unité géologique dans ce bassin. L'huile provient de sables carbonifères dans le Kansas, l'Oklahoma, et de formations plus récentes dans la Louisiane et l'Arkansas. Cette région est plissée (anticlinaux). L'huile est de qualité variable, géné-





Fig. 44. — CARTE DES GISEMENTS AMÉRICAINS.

ralement asphaltique et assez riche en essence. Ces gisements ont une vie très courte. La production de cette région, la plus riche en pétrole des États-Unis, est en croissance constante. Le célèbre champ de Seminole est situé dans le Mid-continent.

5° *Gulf coast* : Région côtière des États du Texas et de la Louisiane. C'est une région de dômes de sel. L'huile se rencontre depuis le crétacé jusqu'au quaternaire. Elle est asphaltique et très sulfureuse (2 p. 100 de S). La production est, à l'heure actuelle, stationnaire. La côte du golfe possède les gisements de Panhandle et de Spindle-Top remarquables par leur rendement élevé.

6° *Rocky Mountains* : États de Montana, Wyoming, Colorado, Utah, New-Mexique. Le pétrole se rencontre dans des couches d'âge varié. Celui des terrains anciens (carbonifère, trias) est plus lourd que celui du crétacé. Cette région a une production de plus en plus considérable.

7° *Californie* ; État de Californie. Les couches productrices — sables — s'échelonnent du crétacé au quaternaire, mais le miocène est l'horizon le plus riche. Cette région est très faillée. L'huile a des propriétés variables, elle est généralement asphaltique, sulfureuse et assez pauvre en produits légers. L'extraction y est assez ancienne, le rendement croît constamment.

Des réseaux de pipe-lines font communiquer ces gisements avec les centres de raffinage établis le plus souvent sur les côtes. Un réseau en forme d'arc va de Boston à Galveston (Texas) en drainant l'huile des cinq premières régions. Les pétroles californiens sont conduits sur la côte Pacifique.

En 1929, les États-Unis, sur une production globale de 1 006 000 000 de barils, ont exporté 16 997 000 barils de pétrole brut et 101 810 000 de produits finis. Il faut

noter, d'ailleurs, que pendant cette même année, ils ont importé des autres états américains 165 745 000 barils.

Les principaux forts pétroliers sont Boston, New-York, Philadelphie, Baltimore, Charleston, Sabine, Port-Arthur, Galveston, Monterey, Port-Harford, Ventura, San Pedro et San Francisco. De puissantes raffineries sont édifiées à proximité de ces ports.

**Mexique.** — Le Mexique, autrefois le second producteur mondial, a été détrôné en 1927 par l'U. R. S. S., en 1928 par le Vénézuéla et en 1929 par la Perse.

Il existe deux régions productrices.

1° *Tampico-Tuxpan* : Cette région s'allonge entre la côte du golfe du Mexique et les premières assises de la Sierra-Madre, dans les États de Hidalgo, San Luis Potosi, Tamaulipas et Vera Cruz. L'huile est contenue dans des calcaires du crétacé ou de l'éocène, plissés (anticlinaux). La partie nord, voisine de la ville de Tampico, est la plus riche.

2° *Isthme de Tehuantepec* : État de Vera-Cruz. L'huile provient du tertiaire et est en liaison avec les dômes de sel.

L'huile de ces deux régions est peu riche en essence. Elle est emmagasinée dans le sol sous une pression considérable qui peut occasionner des éruptions lors du forage. Le débit est grand, mais l'épuisement est rapide.

Des pipe-lines conduisent l'huile du bassin de Tampico-Tuxpan à ces deux villes. De même l'huile de Tehuantepec est dirigée sur Puerto-Mexico.

Le pétrole brut est presque totalement dirigé vers les raffineries des États-Unis par les ports de Tampico, Tuxpan et Puerto-Mexico.

En 1928, 33 387 000 bbls. exportés sur 50 151 000 produits.

En 1929, 27 039 000 bbls. exportés sur 44 689 000 produits.



Les quelques raffineries existantes se trouvent dans les ports.

**Antilles.** — Les Antilles produisent des quantités intéressantes d'huiles minérales. Les Barbades et Trinidad renferment de puissants gisements d'asphalte. La production en milliers de barils a été :

	1928	1929
Cuba.....	4	4
Barbades.....	9	9
Trinidad.....	7 684	8 810

L'huile de Trinidad est presque entièrement dirigée sur des raffineries anglaises.

**Colombie.** — Le sous-sol colombien est incontestablement très riche en huile minérale, mais toute sa production actuelle ne provient que d'une région située à 500 km de la côte des Caraïbes, sur le Rio Magdalena. Un pipe-line de 800 km relie cette région au port de Carthagéna.

L'huile colombienne, assez riche en essence, est en presque totalité exportée brute. Les États-Unis en 1928 et en 1929 ont reçu en milliers de barils :

1928.....	10 000
1929.....	13 000

sur une production totale de 19 894 000 barils (1928), de 20 385 000 (1929).

**Vénézuéla.** — Le Vénézuéla n'est un producteur de pétrole que depuis 1917. Il est actuellement classé second, après les États-Unis. Le pays n'est que partiellement prospecté et sa production ne fera que croître.

L'huile est extraite de deux régions :

1<sup>o</sup> *Région du lac Maracaïbo* : La seule véritablement productrice.

2<sup>o</sup> *Région de l'Orénoque* :

Une partie de la production vénézuélienne est exportée aux États-Unis.

	en milliers de barils
1928.....	99 762 (sur 105 749).
1929.....	124 606 (sur 137 000).

Une autre fraction est dirigée sur les raffineries de Curaçao.

**Équateur.** — La production de cet État en milliers de barils est pour

1928.....	1 084
1929.....	1 351

La région pétrolifère s'étend le long de la côte Pacifique, de l'embouchure du Rio Guayaquil à la frontière péruvienne.

**Pérou.** — La principale région pétrolifère s'étend le long de la côte Pacifique sur une longueur de 300 km, près de la frontière de l'Équateur (gisements de Lobitos, Zorritos et Negritos). Le pétrole est contenu dans des schistes tertiaires plissés. L'huile est de bonne qualité, riche en essence.

Du pétrole a été également rencontré dans la région du lac Titicaca, près de la frontière bolivienne.

La production péruvienne est actuellement stationnaire par suite de sa limitation.

**Bolivie.** — La région pétrolifère péruvienne du lac Titicaca se continue en Bolivie. En outre, une autre zone se rencontre au Sud, près de la frontière argentine.

**Argentine.** — L'Argentine possède quatre bassins pétrolières, trois le long des Andes, un — Comodora Rivadavia — sur l'Atlantique.

1° *Provinces de Salta et Jujuy* (continuation du gisement bolivien sud). Les couches productrices situées dans le permien donnent une huile de bonne qualité.

2° *Province de Mendoza.* L'huile riche en produits légers et en paraffine se rencontre dans le rhétien.

3° *Province de Neuquen* (gisement de Plaza Huincul). Le jurassique supérieur contient le pétrole, très riche en essence (60 p. 100). La production de Plaza Huincul vient après celle de Comodora Rivadavia.

4° *Provinces de Chubut et Santa-Cruz.* On rencontre à la limite de ces provinces le très riche gisement de Comodora Rivadavia qui fournit la presque totalité de la production argentine. Celle-ci était, en 1929, de 8 800 000 barils.

L'huile extraite du créacé supérieur contient d'assez grandes quantités d'asphalte.

**Autres États.** — Les autres États américains sont prospectés : États de l'Amérique centrale, Brésil (Sao Paulo) et Chili (Tarapacu).

## AFRIQUE

**Égypte.** — L'Égypte possède les seuls gisements importants exploités en Afrique. La région pétrolière, avec les gisements de Hurgadah et de Gernah, se trouve à l'entrée du golfe de Suez. L'huile transportée à Suez par bateaux y est distillée.

La production croît faiblement. Elle était, en 1929, de 1 860 000 barils.

**Autres pays.** — Des indices d'huile ont été trouvés dans nombre de régions : Éthiopie, Niger, Cameroun, Congo,



Afrique australe, Madagascar. L'Afrique du Nord (Algérie, Tunisie, Maroc) possède quelques puits exploités, mais de production très faible. Le département d'Oran a donné en

1928.....	10 000 bbls.
1929.....	10 000 —

Il est à peu près probable que l'Afrique contient des réserves importantes d'hydrocarbures.

### EUROPE

A part l'U. R. S. S., la Roumanie et la Pologne, l'Europe produit très peu de pétrole.

**Angleterre.** — La production anglaise est infime :

1928.....	2 000 barils
1929.....	2 000 —

et provient de Hardstoft (Chesterfield). L'huile est assez riche en essence.

**France.** — La France possède deux gisements de pétrole : Péchelbronn (Bas-Rhin) et Gabian (Hérault). Sa production totale est passée de 512 000 en 1928 à 516 000 barils en 1929. Le gisement alsacien donne les 95 p. 100 de la production entière avec une huile très peu riche en essence (4 p. 100).

**Allemagne.** — La production allemande (en barils) :

1928.....	630 000
1929.....	711 000

provient du Hanovre et de la Bavière.

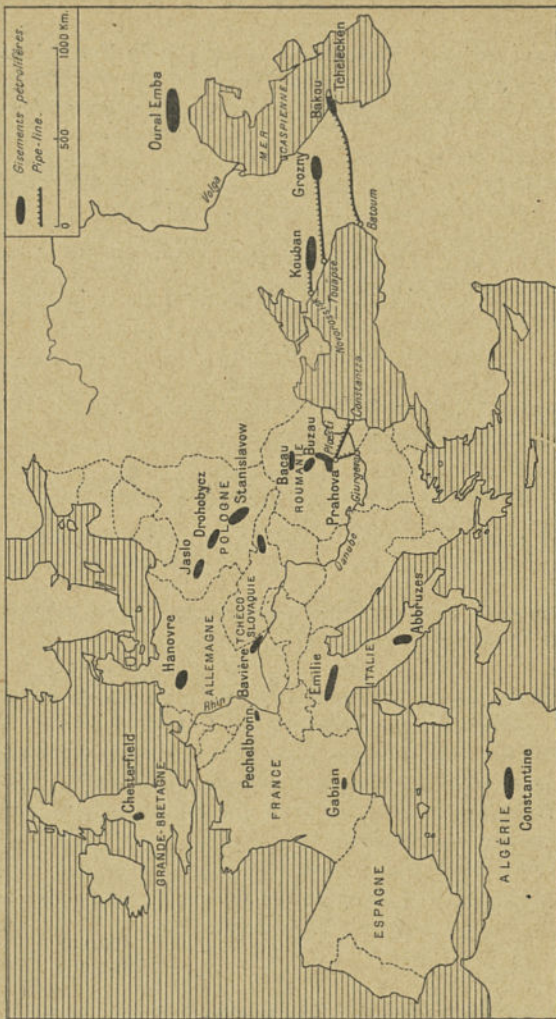


Fig. 45. — CARTE DES GISEMENTS EUROPÉENS ET AFRICAINS.

**Italie.** — L'Italie retire quelques milliers de barils de l'Émilie et des Abruzzes. L'huile retirée du premier gisement est légère, celle des Abruzzes est asphaltique.

1928.....	46 000 bbls.
1929.....	44 000 —

**Pologne.** — Les gisements pétrolifères polonais sont situés sur la bordure extérieure des Carpathes. Les gisements tchéco-slovaques et roumains en sont la continuation.

Les gisements sont répartis en trois régions :

- 1° *Jaslo* (Krosno et Rozi), en Galicie occidentale.
- 2° *Drohobycz* (Boryslaw, Tustanowice, Mraznica, Schodnica). C'est la plus riche de ces trois régions.
- 3° *Stanislawow* (Potok, Kolomea, Sloboda, Bitkow) en Galicie orientale.

Les horizons producteurs sont variées, le plus riche est la couche gréseuse surmontée de la couche ménolithique (Boryslaw). La profondeur des puits est considérable ; certains dépassent 1 600 m, d'autres atteignent 1 800 m.

Par suite de la diversité des horizons pétrolifères, l'huile a une composition également très variée, depuis le brut très paraffineux (Boryslaw) jusqu'au brut exempt de paraffine, riche en essence (Potok).

La production polonaise baisse depuis 1925. Elle atteignait à ce moment 5 960 milliers de barils.

Une grande partie de l'huile extraite est raffinée sur place.

La Pologne possède également des gisements considérables de gaz.

**Roumanie.** — Les gisements pétrolifères sont situés sur la bordure orientale des Carpathes et des Alpes de



Transylvanie. Ils sont répartis en quatre régions :

1<sup>o</sup> *District de Bacau*. Située à l'extrémité des Carpathes, cette zone a une production faible et en baisse.

2<sup>o</sup> *District du Buzau*.

3<sup>o</sup> *Districts de Prahova et de Dambovitza* : C'est la plus riche région pétrolifère du royaume avec les gisements de Moreni, Bustenari, Câmpină et Baicoi. L'huile est contenue par le dacien et le méotien d'une série d'anticlinaux. L'huile, paraffineuse à Câmpină, est très riche en produits légers à Baicoi. La vie des forages est assez courte, sauf à Câmpină où certains remontent à vingt ans.

La production des gisements de la Prahova est en très faible hausse, celle de la Dembovitza croît fortement.

La production totale roumaine a presque triplé depuis 1924.

1924.....	13 300 000 bbls.
1929.....	34 930 000 —

La ville de Ploesti, centre pétrolier de la Prahova et de la Dambovitza, est réunie par un réseau de pipe-lines aux ports de Constantza sur la mer Noire et de Guirgevo sur le Danube.

En 1929, la Roumanie a exporté plus de la moitié de sa production dans les états européens et en Égypte.

**Tchéco-Slovaquie.** — La production tchéco-slovaque est passée de 94 000 barils en 1928 à 93 000 en 1929. Elle provient des régions de Gbely, Ratiskovice et Mikova.

**U. R. S. S.** — L'U. R. S. S. est le troisième producteur du monde d'huile minérale. Mais malgré son rang, sa production est faible, moins de 7 p. 100 de celle du monde entier.

Les gisements pétrolifères sont groupés autour de la

mer Caspienne. Celui du Kouban fait seule exception, étant situé près de la mer Noire.

1° *Oural-Emba* : Cette région, localisée entre les rivières de même nom a donné, en 1929, 2 050 000 barils d'huile peu riche en essence et dépourvue de paraffine et d'asphalte. Des pipe-lines réunissent les gisements à la Caspienne.

2° *Caucase* : La production caucasienne se répartit en plusieurs régions.

a) *Kouban* : La région de la rivière Kouban, située au Nord du Caucase, près de la mer Noire, a produit, en 1929, 700 000 barils d'huile qu'une canalisation a transportés au port de Novorossisk.

b) *Grosny* : Ce gisement, le second de l'Union, a donné, pendant le courant de 1929, 34 200 000 barils. L'huile provenant de grès de l'oligocène et du miocène plissé (anticlinaux), est essenciée et paraffineuse dans les couches supérieures, et lourde et non paraffineuse dans les couches inférieures. Un pipe-line, aboutissant au port de Tchuapse, met cette région en communication avec la mer Noire.

c) *Bakou* : Les districts de Sourakhany et de Biby-Eybat, dans la presqu'île d'Apchéron, ont produit en 1929, 66 000 000 barils. Le naphte, provenant de sable et de calcaire gréseux d'anticlinaux, est plus léger dans les couches supérieures. Le gisement se continue sous la Caspienne, ce qui a fait exécuter des forages à quelque distance du rivage, en pleine mer.

d) *Tcheleken* , La continuation des gisements de l'Apchéron se poursuit jusqu'à l'autre côté de la Caspienne, dans l'île de Tcheleken et à Ferkhana dont la production fut en 1929 de 250 000 barils.

L'U. R. S. S. a exporté, en 1929, dans presque tous les pays européens, 27 560 000 barils, tant en produits bruts qu'en produits finis.

**Autres États.** — L'Albanie, la Bulgarie et la Grèce possèdent de minuscules gisements hydrocarbonés.

### ASIE

**Mésopotamie.** — Le long du Tigre, dans le Lauristan, entre Mossoul et Bagdad, se rencontrent des gisements d'huile qui entrent actuellement en exploitation. Cette région semble très riche. Les quelques puits en exploitation ont donné, en 1929, 798 000 barils.

**Perse.** — La Perse possède l'important gisement de Maïdan-i-Naptun, prolongement de celui de Mésopotamie. Il se trouve au Nord du golfe Persique auquel il est réuni par des pipe-lines aboutissant aux raffineries d'Abadan.

Le long de la mer Caspienne et du golfe Persique, se trouvent de petits gisements.

De nombreux forages sont arrêtés avant d'atteindre la couche productrice que l'on perce lors d'un besoin d'huile.

L'huile non raffinée à Abadan est exportée en Europe. La production est presque stationnaire.

1928.....	43 460 000 bbls.
1929.....	45 250 000 —

**Inde anglaise.** — L'Inde anglaise est assez riche en huile qui se rencontre dans les régions de l'Assam, du Pendjab et dans celle de Birman (Birmanie). Cette dernière est la plus riche, 7 300 000 barils en 1929, sur une production totale de 8 470 000 barils. La Birmanie comprend les gisements de Yenang-Young, Singu et Yenangyat. Un pipe-line de 450 km aboutit à Rangoon où s'élèvent des raffineries.

La production indienne, qui avait atteint 8 741 000 barils





Fig. 46. — CARTE DES GISEMENTS ASIATIQUES.

en 1928, est en légère baisse, par suite de l'épuisement du sous-sol.

**Indes néerlandaises.** — Les gisements des possessions hollandaises se rencontrent dans les îles de Sumatra (gisements de Perlak, Dangsar et Palembang), de Bornéo (gisement de Burnu et de Sarawak, État libre sous le protectorat anglais), de Tarakan, de Java (gisements de Rambang et de Samarang), de Céram.

Les huiles remarquables par leur teneur en produits aromatiques sont pour une partie raffinées sur place et pour une autre exportées en Europe.

La production atteignait, en 1929, 43 200 000 barils.

**Japon.** — Les gisements japonais se trouvent dans les îles de Formose et de Nippon. Dans cette dernière, ils sont situés à 300 km au nord de Tokio, dans les gouvernements de Niigata et d'Akita.

**Autres États de l'Asie et l'Océanie.** — La Chine, la Sibérie, l'île de Sakhaline, le Siam, la Nouvelle-Guinée, l'Australie et la Nouvelle-Zélande possèdent des gisements exploités.

---

## CHAPITRE IX

### COMMERCE ET RÉGLEMENTATION

---

Le pétrole fait l'objet d'un commerce considérable. A part quelques-unes, les grandes puissances mondiales ne produisent qu'une faible partie de leur huile et doivent en importer.

La production, le raffinage et le commerce sont presque entièrement entre les mains d'un petit nombre de sociétés et de leurs filiales. La plus puissante est le groupe Standard Oil, association de plusieurs compagnies américaines qui, outre le contrôle de la quasi-totalité de la production américaine, possèdent aussi celui de nombreux gisements répartis dans le monde (Canada, Mexique, Colombie, Roumanie, etc.).

Le groupe Royal Dutch-Shell, hollando-anglais, a une puissance à peu près équivalente. Son contrôle s'exerce sur la production des îles de la Sonde et de gisements américains (États-Unis), mexicains, roumains, égyptiens.

L'Anglo Persian Oil, associée à la Burmah Oil, — sociétés dont le gouvernement britannique possède une grande partie des actions, contrôle les productions de la Perse, de l'Inde et de la Mésopotamie.

De nombreuses sociétés de moindre importance, éparpillées dans le monde, possèdent les autres gisements.

L'activité des trois grandes compagnies se manifeste



dans tous les domaines de l'industrie du pétrole. Ces sociétés visent au contrôle de tous les gisements naissants et de tous les marchés mondiaux. De nombreuses petites sociétés sont contrôlées par elles à la suite de l'achat d'un certain nombre d'actions.

*Prix des huiles dans les ports américains  
(1<sup>er</sup> juillet 1930).*

	\$ par gallon	francs par tonne
Essence aviation .....	0,12	1 171,06
— tourisme .....	0,095	888,63
— poids lourd .....	0,08	728,02
Kérosène .....	0,06	494,63
Gas oil .....	0,038	307,72
Fuel oil .....	0,019	143,00
Huile à broche (Viscosité Engler à 20° : 5,7).....	0,30	2 269,78
Huile à machine (Viscosité Engler à 38° : 8,7)....	0,19	1 414,03
Huile à cylindre (Viscosité Engler à 100° : 5,7)...	0,295	2 200,04

L'industrie pétrolière est soigneusement réglementée dans tous les pays du monde. Cette réglementation s'applique surtout à l'exploitation des gisements, accessoirement au commerce et au transport ; dans ce dernier cas, elle vise surtout à la sécurité.

Dans presque tous les États, — les États-Unis exceptés, — la propriété du sol ne s'étend pas aux ressources minérales qu'il contient. La recherche et l'exploitation ne peuvent alors se faire que par des permis de recherche et des concessions donnés par le gouvernement local. Les concessions d'exploitation ne sont accordées qu'une fois l'existence de l'huile prouvée. Elle entraîne le versement à l'État d'un droit de location et d'un certain pourcentage

de l'huile obtenue. Ces versements s'effectuent, au gré de l'État, en nature ou en espèces.

Dans quelques pays, les concessions ne sont accordées qu'à des nationaux et à des sociétés nationales. Dans les autres, elles ne sont octroyées aux étrangers et sociétés étrangères que si ceux-ci ne se réclament pas de la protection de leur pays d'origine.

Notons qu'en Roumanie l'exportation du pétrole brut est interdite.

Les États importateurs frappent de droits souvent élevés les huiles minérales à leur entrée.

La possession des gisements pétrolifères n'est pas seulement voulue par les grandes sociétés commerciales, mais aussi par toutes les nations. Le manque d'huile, en effet, entraîne un arrêt assez rapide de l'activité nationale. Les flottes chauffées au mazout doivent rester au port. Les États qui, sur leur sol national, ne possèdent pas le pétrole en quantité suffisante, cherchent à participer à toutes les exploitations nouvelles à l'exclusion de leurs voisins.

---

## CHAPITRE X

### DANGERS PRÉSENTÉS PAR L'INDUSTRIE PÉTROLIFÈRE

---

#### *DANGERS D'INCENDIE ET D'EXPLOSION*

Les produits pétrolifères portés à une température supérieure à leur point d'inflammabilité peuvent prendre feu. Les vapeurs qu'ils émettent, mélangées en certaines proportions avec de l'air, peuvent faire explosion. De ces deux dangers, le second est le plus grand. On lutte contre le feu, mais non contre l'explosion.

L'inflammation des produits pétrolifères et l'explosion de leurs vapeurs ne peuvent avoir lieu qu'au contact d'un corps enflammé ou d'une étincelle électrique.

Dans les raffineries, la distillation, faite à feu nu, peut entraîner des incendies lorsqu'il se produit une fuite. Il faut donc veiller attentivement à l'étanchéité parfaite des appareils et éloigner le plus possible les stations de réception.

Dans toutes les installations d'hydrocarbures, il doit être interdit de fumer. Le danger est beaucoup plus constitué par la flamme allumant une cigarette que par cette dernière. Les installations électriques doivent être exécutées avec certaines précautions afin d'éviter les étincelles : canalisations sous plomb, lampes protégées par des manchons de verre, moteurs et interrupteurs blindés.



Les charges électriques régnant dans l'atmosphère sont également cause de la formation d'étincelles. Pour les éviter, il faut protéger les édifices au moyen de paratonnerres et mettre soigneusement à la terre toutes les parties métalliques.

Les étincelles électriques peuvent être également provoquées par les charges statiques développées par le frottement des huiles sur des parois métalliques lors de la circulation dans les tuyaux. On y remédie en faisant une liaison électrique entre les diverses parties métalliques, réservoirs, canalisations, et la terre.

Ces phénomènes se produisent surtout lors du chargement des camions-citernes par suite de l'isolement considérable de ces derniers par les pneumatiques.

Les locaux, dans lesquels les vapeurs peuvent s'accumuler en proportions dangereuses, doivent être ventilés. Les fuites d'huile doivent être obstruées et, afin de les repérer facilement, toutes les canalisations d'un dépôt ou d'une raffinerie doivent être aériennes. Les flaques d'huile ne doivent pas séjourner, les vieux chiffons traîner un peu partout. Il faut recueillir ces derniers à fin de destruction ou de récupération.

Lorsqu'un incendie se déclare dans une installation quelconque, il ne faut pas songer à lutter avec de l'eau. L'eau, plus lourde, n'aurait aucune action, si ce n'est celle de répandre davantage l'huile enflammée. Elle n'est employable que pour refroidir les parois d'un réservoir dont on veut protéger le contenu ou éviter le déchirement.

Les petits incendies peuvent être éteints avec du sable humide ou du tétrachlorure de carbone. Le seul véritable moyen de combat est incontestablement la mousse que l'on déverse à torrents sur le liquide enflammé.

Cette mousse est obtenue par mélange, au moment de

l'usage, de deux solutions, l'une acide, l'autre alcaline.  
La solution acide est composée de :

	en poids
Eau .....	100
Sulfate d'alumine .....	10
Acide sulfurique 66° B. ....	0,5

et la solution alcaline de :

	en poids
Eau .....	100
Colle .....	1,25
Glucose .....	0,5
Bicarbonat de soude .....	7,5
Acide arsénieux ou formol <sup>1</sup> .....	0,2

Ces solutions sont mises en réserve dans des appareils portatifs dont le retournement assure le mélange, ou dans de grands bacs que des canalisations mettent en communication avec des prises disséminées dans tous les endroits où elles sont utiles.

On peut également créer, au dessus de l'huile enflammée, une atmosphère non comburante par injection de vapeur d'eau surchauffée ou de gaz carbonique.

Il se produit souvent des explosions lors de la réparation des fûts métalliques ayant contenu un produit volatil. Les traces du liquide resté forment, par leur vaporisation, un mélange explosif qui saute lorsqu'un ouvrier approche un chalumeau ou une lampe de soudeur. Les réparations ne doivent se faire qu'après plusieurs lavages à l'eau, ce qui chasse les vapeurs, et si possible, sur le fût rempli d'eau.

### *EFFETS PHYSIOLOGIQUES*

Le pétrole et ses dérivés, malgré quelques emplois pharmaceutiques, ont une influence physiologique assez

1. Antiseptique afin d'éviter la putréfaction.

désastreuse sur l'organisme. Les vapeurs peuvent causer l'asphyxie lorsque leur concentration est grande. A plus faible dose, elles causent des éblouissements, des hallucinations, des maux de cœur, des insomnies, des pertes d'appétit, de l'anémie.

Le contact de la peau avec les huiles, surtout paraffineuses, amène des éruptions de pustules très douloureuses et peut conduire à des affections cancéreuses.

L'absorption de pétrole provoque des vomissements et une sorte d'ivresse.

Pour remédier à ces inconvénients, il ne faut faire travailler les ouvriers que dans des locaux bien ventilés et éviter de mettre dans une atmosphère tant soit peu délétère un individu atteint d'affections pulmonaires.

Les ouvriers qui manipulent l'huile doivent avoir deux séries de vêtements, l'une étant uniquement réservée au travail. A la fin de la journée, ils doivent prendre un bain chaud.

---



## CHAPITRE XI

### OZOCÉRITE, BITUME

---

L'ozocérite et le bitume sont deux substances dont l'origine pétrolifère est indéniable. Ce sont du reste deux excellents indices. Au point de vue économique, leur importance est moindre que celle du pétrole.

L'ozocérite ou paraffine naturelle se rencontre sous forme d'écaillés transparentes vertes ou brun-rouges, fondant entre 40° et 70°. Elle se compose de carbures, analogues à ceux constituant la paraffine, et de produits sulfurés. Ce serait un résidu de l'huile minérale brute après évaporation des parties légères. Le raffinage à l'acide sulfurique et à la soude conduit à de la paraffine, dont elle a tous les usages.

L'ozocérite est principalement exploitée en Pologne.

Le bitume ou asphalte naturel se rencontre, plus ou moins mélangé à des substances minérales, en rognons flottant à la surface de l'eau (mer Morte) en lac (Trinitad-Sakhaline) ou en filons (Mexique). Cette substance, de couleur noire, brillante, fondant vers 50°, est analogue au brai de pétrole soufflé. C'est le produit de l'évaporation et de l'oxydation des huiles minérales.

Le bitume se compose de :

Pétrolènes : volatils à 200°.

Maltènes : solubles dans l'essence légère.

Asphaltènes : solubles dans le tétrachlorure de carbone.

Carbènes : solubles dans le sulfure de carbone.

Le bitume peut remplacer le brai dans ses applications.

## CHAPITRE XII

### PRODUITS DE REMPLACEMENT

---

La consommation des produits pétrolifères, surtout celle de l'essence, croit de jour en jour. Les gisements s'épuisent peu à peu et si, dans un avenir assez proche, de grandes régions pétrolifères ne sont pas découvertes, le monde entier pourra être privé d'une matière première indispensable. Le *Geological Survey of U. S. A.* est extrêmement pessimiste ; il assigne aux gisements américains une fin très proche. La limitation de la production est activement étudiée aux États-Unis.

Des pays comme l'Allemagne, l'Angleterre, la France sont totalement ou partiellement privés de pétrole à l'intérieur de leurs frontières et, par suite, sont à la merci de leurs voisins riches en huile qui peuvent être, en outre, animés de sentiments agressifs. Pour ces raisons, on étudie activement la fabrication de carburants artificiels à partir de combustibles minéraux — dont l'épuisement est extrêmement lointain, — ou à partir de certains végétaux.

On peut, à la rigueur, considérer comme sources de substituts pétrolifères les essences de cracking et celles provenant du cracking hydrogénant des huiles lourdes minérales ; mais ces produits étant obtenus à partir du pétrole ne peuvent être considérés comme des carburants

de remplacement ; ils sont plutôt le résultat de récupérations et la question ne peut trouver de ce côté de véritable solution.

### CRACKING HYDROGÉNANT DES HUILES MINÉRALES

Nous savons que le cracking libère de l'hydrogène en même temps qu'il donne des carbures extrêmement condensés et même du coke. Si on travaille sous pression d'H, le pourcentage en carbures légers sera plus grand et celui en résidu presque nul. C'est le principe des procédés Bergius. Ce procédé s'applique également aux goudrons retirés des combustibles solides et aux combustibles solides eux-mêmes.

La Bergiunisation des huiles lourdes s'effectue à 400-450° sous une pression de 100-150 kg. La fixation de l'hydrogène se fait sans catalyseur grâce à la pression élevée. On ne catalyse pas par suite des impuretés contenues dans la matière première (soufre), impuretés empoisonnant la plupart des catalyseurs.

A Mannheim, la Bergiunisation est réalisée comme suit. L'huile est envoyée sous pression dans un autoclave, après traversée d'un préchauffeur. Cet autoclave à double paroi, muni d'un agitateur à palette, est chauffé par circulation — dans l'espace compris entre les deux chemises — d'azote chaud, à une pression égale à celle de l'intérieur de l'appareil<sup>1</sup>. Le courant d'azote est chauffé par circulation dans un four où l'on brûle du gaz à l'eau. L'hydrogène arrive sous pression dans l'autoclave.

Les vapeurs d'hydrocarbure accompagnées d'H traversent un déphlegmateur, le préchauffeur, un détendeur et un réfrigérant à la sortie duquel s'opère la séparation huile-hydrogène. Ce der-

1. Un appareil en acier ne peut supporter à chaud de hautes pressions d'H sans se corrompre. L'emploi d'une enveloppe de N à la même pression que celle de H, fait considérer la tôle intermédiaire comme soumise à une pression faible ou nulle. Le N n'a pas d'action sur les parois métalliques.



nier gaz retourne à l'autoclave. Le soufre contenu dans l'huile est réduit en hydrogène sulfuré entraîné par H. Lorsque la concentration en  $H_2S$  devient trop considérable, on le brûle dans le four (fig. 47).

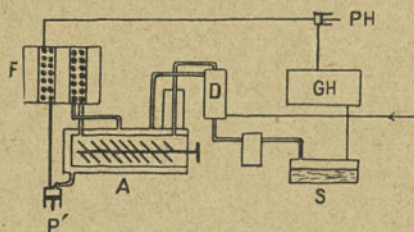


Fig. 47. — PROCÉDÉ BERGIUS.

A, autoclave. — F, four. — P', pompe à azote. — PH, pompe à hydrogène. — D, Préchauffeur. — GH, gazomètre à hydrogène. — S, séparateur.

La capacité de traitement d'un appareil de 3,5 m<sup>3</sup> est de 15 tonnes par jour.

Il est possible de transformer un fuel oil moitié en essence et moitié en produits lampants.

L'hydrogène est produit par passage de gaz à l'eau sur des briquettes de fer réduit.

### *TRAITEMENT DES SCHISTES BITUMINEUX*

Les schistes bitumineux sont des roches stratifiées contenant une certaine quantité de matières organiques. La distillation en vase clos donne des carbures saturés et non saturés. Cette opération est une pyrogénéation, ces carbures n'existant pas initialement dans le schiste.

On rencontre les schistes bitumineux dans les divers terrains compris entre le cambrien et la fin du tertiaire. Ils proviennent de la décomposition au fond des lagunes de certains végétaux et d'animaux. Ils sont assez répandus de par le monde, Ils sont exploités par des méthodes

tout à fait analogues à celles des mines de houille. La profondeur des puits n'a jamais dépassé 200 m.

Les schistes contiennent des corps sulfurés et azotés. Au cours de la distillation passent, d'abord de l'eau ammoniacale, puis des gaz, enfin, entre 280° et 450°, l'huile. Le résidu est formé de coke et de cendre.

La distillation industrielle des schistes se fait dans des cornues verticales de 10 à 15 m de haut (cornue Pumpherson) logées par groupe de quatre dans des massifs de maçonnerie. Le schiste broyé est monté dans une trémie communiquant avec la cornue proprement dite. Cette dernière se compose dans sa partie supérieure d'un cône de fonte de 4,50 m de haut, et dans sa partie inférieure d'un cône en brique haut de 6 m. Les deux cônes ont leur plus grande ouverture dirigée vers le bas. Les résidus de la distillation sont extraits automatiquement du bas de la cornue. Celle-ci est chauffée par combustion, dans des carneaux, des gaz provenant de la distillation auxquels on ajoute du gaz de gazogène. On injecte de la vapeur d'eau au bas du four.

Le schiste traverse la cornue en 30 heures et est soumis à des températures de plus en plus élevées : 650° dans la cornue de fonte où il abandonne ses matières volatiles, 850-900° dans la cornue en brique où, par suite de l'injection de vapeur, le carbone restant se transforme en CO<sub>2</sub> et CO, ce dernier décomposant la vapeur en hydrogène. L'azote contenu donne alors de l'ammoniac.

Les matières volatiles recueillies au haut de la cornue passent dans un condenseur aérien, puis dans des *scrubbers* à eau retenant l'ammoniac, et dans des *scrubbers* à huile retenant les fractions légères. L'essence absorbée est séparée par distillation.

L'huile brute recueillie, de densité comprise entre 0,860 et 0,960, est fractionnée par distillation. Les fractions sont alors raffinées comme celles des huiles de pétrole. Les fractions lourdes doivent être déparaffinées.

On recueille :

- De l'essence contenant 60 p. 100 d'oléfines ;
- Du lampant ;
- Du gas oil ;
- Des huiles de graissage.

La capacité journalière de traitement d'une cornue est de 7 tonnes et il faut 530 kg de vapeur par tonne distillée.

Le rendement moyen d'un schiste est :

Huiles diverses : 4 à 15 p. 100 ;

Essences : 1 à 3 p. 100 ;

Gaz fixes : 3 à 15 p. 100.

On recueille également l'ammoniaque correspondant à environ 1 p. 100 de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  par tonne. Il en résulte qu'il faut 10 tonnes de schiste pour équivaloir à 1 tonne de pétrole brut.

La distillation des schistes bitumineux peut également se faire dans des fours tournants, fours *Fisher*. Le four *Fisher* est un cylindre très légèrement incliné sur l'horizontale, long de 25 m, sur 2 à 3 de diamètre. Il est animé d'un lent mouvement de rotation. Le schiste, chargé dans une trémie, pénètre à une extrémité et le résidu solide sort par l'autre. De ce même côté se trouve la sortie des matières volatiles. La durée de la distillation est de quatorze heures. Ce four permet de traiter 80 tonnes de schiste par jour.

Le four *Salerni* est horizontal et muni d'un malaxeur qui fait progresser le schiste. La durée de distillation est ramenée à une heure.

On peut travailler les huiles lourdes de schiste au cracking hydrogénant.

L'industrie des schistes bitumineux est plus ancienne que celle du pétrole, mais l'apparition de cette dernière lui a porté un tort considérable par suite de la concurrence. L'industrie des schistes ne redeviendra prospère qu'au moment où le pétrole sera sur le point d'être un minéral rare.

### TRAITEMENT DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX

Par des traitements appropriés — distillation à haute et basse température, hydrogénation, — les houilles,



lignites et tourbes donnent des substituts d'huiles minérales.

### HOUILLE

La houille est le combustible le plus commun ; la puissance de ses gisements est considérable et l'épuisement n'en est prévu que dans de lointaines années. La houille, provenant de la décomposition de la lignine contenue dans les organismes végétaux, est une substance extrêmement complexe, formée de corps hydrocarbonés très riches en carbone, et de corps oxygénés, azotés et sulfurés. La composition de la houille est loin d'être constante. Celle-ci est d'autant plus riche en carbone et moins riche en O qu'elle est plus ancienne. On distingue :

	Coke %	Matières volatiles %
Houille sèche .....	55-60 p. 100	45-40 p. 100
Houille grasse .....	60-82 —	40-18 —
Houille maigre.....	82-90 —	18-10 —
Anthracite.....	90-92 —	10-8 —

De nombreuses études faites sur la houille en la traitant par des solvants divers ou par des distillations dans le vide lui reconnaissent une composition aromatique et hydroaromatique.

Sous l'action de la chaleur, la houille, au fur et à mesure de la montée de la température, foisonne en dégageant une certaine quantité de gaz occlus, puis fond et s'agglomère en même temps que se dégagent des gaz et des substances volatiles. Il ne reste plus qu'un résidu de

charbon, le coke. La teneur en coke et en matières volatiles est différente d'une houille à l'autre.

**Distillation de la houille.** — La pyrogénéation industrielle de la houille en vase clos est assez ancienne. Cette distillation faite à température élevée est la base des très importantes industries du gaz d'éclairage et du coke. Les produits recueillis sont, en outre, des goudrons et de

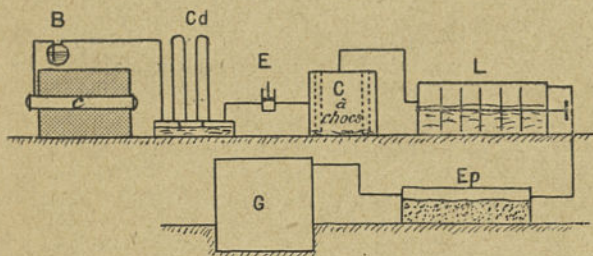


Fig. 48. — DISTILLATION DE LA HOUILLE.

c, cornue. — B, barillet. — Cd, condenseur. — E, extracteur. — C, condenseur à chocs. — L, laveur. — Ep, épurateur. — G, gazomètre.

l'ammoniaque<sup>1</sup>. Le premier sous-produit est pour nous très intéressant.

Le goudron (4 à 6 p. 100 de la houille traitée) est composé pour une faible part de carbures acycliques, saturés, oléfiniques et acétyléniques et surtout de carbures aromatiques mono et polycycliques (famille du benzène, du naphthalène, de l'anthracène, etc.) accompagnés de produits oxygénés (acide acétique, phénols, naphthols, etc.), de produits sulfurés cycliques (thiophène et sa famille) et

1. La forme de la cornue, la nature de la houille et la température du traitement influent sur les produits.

de produits azotés cycliques (aniline, pyridine, quino-  
léine, etc.).

La houille est portée à 1 200° dans un four clos, cornue horizon-  
tale ou chambre verticale, placé avec d'autres dans un massif de  
maçonnerie. Les produits volatils et les gaz formés traversent un  
barillet où l'ammoniaque en solution et les goudrons se conden-  
sent en grande partie, puis un condenseur aérien. Un extracteur,  
créant une dépression à l'amont, refoule les gaz au travers d'un  
condenseur à chocs et de laveurs qui éliminent le naphthalène et  
les substances azotées contenues encore dans le gaz, et enfin au  
travers de curves d'épuration (élimination des produits cyanés  
et sulfurés). A la sortie de ces derniers, le gaz est stocké dans des  
gazomètres. Contenant des carbures benzéniques, le gaz est sou-  
vent débenzolé — deuxième source de carburants (fig. 48).

*Traitement du goudron.* — Le goudron recueilli dans  
les divers condenseurs est mis en stock. Il contient de  
grandes quantités d'eau ammoniacale dont une partie se

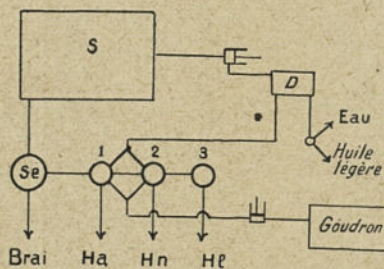


Fig. 49. — PROCÉDÉ CONTINU LIÉNARD.

1, 2, réfrigérants à circulation de goudron. — 3, réfrigérant à  
circulation d'eau. — Se, séparateur.

sépare. La densité du goudron étant comprise entre 1,1  
et 1,2, l'eau forme la couche supérieure.

Le traitement ultérieur demandant un produit presque  
complètement déshydraté, on sépare l'eau par centrifu-



gation ou par distillation un peu au-dessus de 100°. Ce distillat contenant du benzène est recueilli.

Le goudron déshydraté est ensuite séparé par distillation en plusieurs fractions :

- 1,5 p. 100 huile légère jusqu'à 180° ;
- 20 p. 100 huile à naphthaline ou moyenne de 180 à 250° ;
- 7 p. 100 huile intermédiaire ou lourde de 250 à 280° ;
- 11 p. 100 huile à anthracène ou verte de 280 à 300°.

Ce fractionnement s'effectue dans des chaudières à fonctionnement continu ou discontinu, chauffées à feu nu. On utilise, comme dans la distillation des huiles de pétrole, l'injection de vapeur et le vide pour diminuer les températures d'ébullition (fig. 49).

Il reste un résidu d'à peu près 55 p. 100, le brai de houille.

Les huiles légères ou benzol brut passant entre 80 et 218° sont formées de :

- 50 à 70 p. 100 de benzène, toluène, xylène ;
- 5 à 10 p. 100 de carbures éthyléniques ;
- 5 à 10 p. 100 de phénols ;
- 1 à 5 p. 100 de produits azotés et sulfurés.

Elles sont raffinées et redistillées (voir page 187).

Les huiles moyennes contenant jusqu'à 30 p. 100 de phénols et homologues et autant de naphthalène sont soumises à une redistillation pour séparer les huiles phénoliques du naphthalène.

Les huiles lourdes contiennent encore 10 à 20 p. 100 de naphthalène que l'on sépare par distillation des carbures aromatiques plus complexes et des produits hétérocycliques.

Les huiles anthracéniques, en général, ne sont pas traitées.

Les diverses huiles ainsi recueillies peuvent être, sauf les huiles légères, brûlées dans des moteurs à combustion

(diésels). Ce sont aussi des matières premières pour l'obtention de carburants légers par cracking hydrogénéant. Dans ce cas, on ne sépare que les huiles légères et on traite le goudron débenzolé à  $450^{\circ}$  sous pression de 200 kg d'hydrogène, parfois en présence de métaux alcalins comme catalyseurs.

Le naphthalène, corps solide, constituant important du goudron peut, après fusion, être employé dans certains moteurs à explosion conçus pour le brûler. Il est préférable de l'hydrogéner en tétraline et décaline — corps liquides — à  $460^{\circ}$  en présence de catalyseurs ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ).

De même, les nombreux phénols rencontrés peuvent être hydrogénés catalytiquement en carbures correspondants ou transformés en naphtés et en carbures acycliques par cracking hydrogénéant.

*Débenzolage.* — Le gaz entraîne une certaine quantité de matières volatiles constituées principalement par le

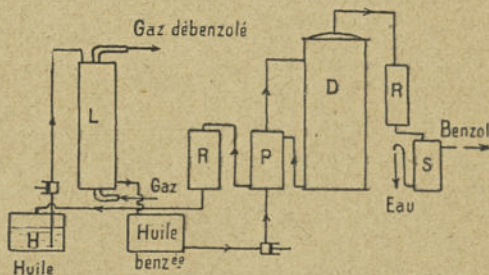


Fig. 50. — DÉBENZOLAGE PAR LAVAGE.

L, laveur. — P, préchauffeur. — D, distillation de l'huile débenzolée. — R, réfrigérants. — S, séparateur.

benzol (benzène et ses homologues). Pendant la guerre, la nécessité d'avoir à sa disposition de grandes quantités de benzol a fait extraire cette substance du gaz d'éclairage. Le débenzolage a presque partout été arrêté à la cessation

des hostilités. Actuellement, il est redevenu obligatoire.

Le gaz contient de 35 à 39 g de benzol par mètre cube et la composition de ce benzol est :

Benzène .....	75 p. 100
Toluène .....	14 —
Xylène .....	11 —

L'extraction se fait par :

- Absorption au moyen d'huile,
- Adsorption par le charbon activé ou le gel de silice,
- Liquéfaction à basse température,

procédés semblables à ceux utilisés dans les raffineries de pétrole pour désessencier les gaz.

L'absorption par l'huile utilise des huiles assez lourdes de façon à ne recueillir à la distillation que le benzol.

Cette opération se fait dans des colonnes de lavage analogues aux colonnes de distillation. Le gaz et l'huile circulent à contre-courant. La séparation du benzol s'effectue dans une colonne à distiller et l'huile résiduaire retourne aux colonnes de lavage (fig. 50).

L'adsorption au charbon actif ou au gel de silice se fait dans des cuves. L'adsorbant saturé de benzol en est débarrassé par un jet de vapeur à 250°.

La liquéfaction se fait à -70°, mais ce procédé est le plus onéreux.

**Traitement du benzol brut.**

— Le benzol obtenu par distillation des goudrons ou

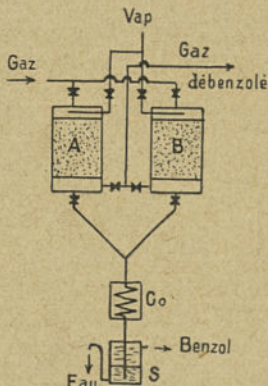


Fig. 51. — DÉBENZOLAGE PAR CHARBON ACTIF OU GEL DE SILICE.

A-B, caisse d'absorption. — Co, condenseur. — S, séparateur.

(Les 2 caisses marchent alternativement).



débenzolage du gaz est purifié au moyen d'agents chimiques afin d'éliminer les nombreuses impuretés entraînées (carbures diéthyliques, sulfure de carbone, thiophène et homologues). Ce traitement chimique se fait par l'acide sulfurique, la soude et enfin l'eau, dans des agitateurs de forme analogue à ceux utilisés dans le raffinage du pétrole.

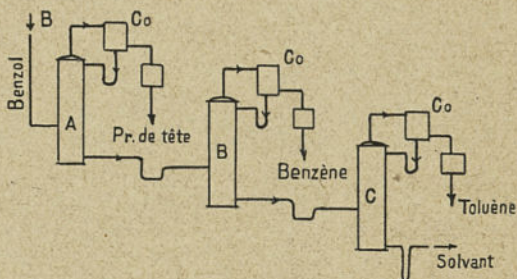


Fig. 52. — REDISTILLATION DU BENZOL BRUT.

A, B, C, colonnes de rectification. — Co, condenseurs.

Le benzol purifié est redistillé pour effectuer la séparation en :

Benzène ;  
Toluène ;  
Xylène ;

ou en produits moins purs :

Benzol 90 (90 p. 100 distillant avant 100°) ;  
Benzol 50 (50 p. 100 distillant avant 100°) ;  
Toluol ;  
Solvent naphta n° 1 ;  
Solvent naphta n° 2.

Cette distillation est actuellement effectuée facilement dans une batterie de trois colonnes (fig. 52).

Une tonne de houille donne de 5 à 8 kg de benzol 90.

*Benzol.* — Le benzol 90 est constitué par :

Benzène .....	85 p. 100
Toluène .....	14 —
Xylène .....	1 —

Le benzol 50 est constitué par :

* Benzène .....	50 p. 100
Toluène .....	40 —
Xylène .....	10 —

Le benzol est un liquide incolore, de densité élevée — 0,88 — et commençant à distiller à 80°. Son point de congélation est assez élevé — 4°. Son pouvoir calorifique, 9 500 millithermies, est moins élevé que celui de l'essence, mais à cause de sa densité, la puissance calorifique d'un litre de benzol est supérieure à celle d'un litre d'essence.

Le benzol est utilisé dans les moteurs à explosion. Il n'est besoin que de régler le carburateur par suite de sa forte densité. Le benzol est doué de propriétés antidétonantes. Il peut être mélangé à l'essence à laquelle il communique ses propriétés antidétonantes.

**Distillation de la houille à basse température.** — Lorsque la houille est distillée à une température beaucoup plus basse que celle utilisée dans les cokeries ou usines à gaz, la quantité de goudron est bien supérieure et la composition de celui-ci très différente.

A 400°-500°, le goudron renferme, en quantités importantes, des hydrocarbures acycliques, saturés et non saturés, accompagnés de phénols et de leurs homologues provenant de l'oxydation des aromatiques.

A 900-1000°, le goudron commence à être constitué de carbures benzéniques. Au fur et à mesure de la montée de la température, les carbures acycliques disparaissent peu à peu alors que croît la quantité de carbures aromatiques mono et polycycliques.

La distillation de la houille à basse température s'effectue aux environs de 500° et donne :

Gaz : fixes ;  
          condensables.  
Goudron primaire.  
Semi-coke.

Elle s'opère dans des fours.

*Fours à carbonisation.* — Il existe un nombre considérable de fours dont, du reste, la majeure partie n'a jamais quitté le bureau d'étude.

Les fours sont chauffés extérieurement ou intérieurement. La chauffe externe ne transmet la chaleur qu'assez lentement à la houille ; la température au centre du four est très inférieure à celle de la périphérie. La chauffe interne évite cet inconvénient. Le charbon est mis en contact avec des gaz chauds, mais ces derniers diluent les produits gazeux à un point tel, que leur valeur est presque nulle et que les matières volatiles contenues sont inextrayables. On peut remédier à ceci en injectant, au lieu de gaz, de la vapeur d'eau surchauffée ; mais alors la distillation est très onéreuse. Dans le cas de chauffe interne le charbon ne doit pas s'agglutiner afin de se laisser traverser aisément. Par malaxage, on évite la prise en masse.

Il semble plus avantageux de chauffer extérieurement les cornues. Celles-ci peuvent être faites en tôle par suite de la faible température employée.

La distillation se fait de façon continue ou discontinue. Les fours dits continus sont analogues à ceux des cokeries et usines à gaz.

*Fours continus.* — Les fours continus sont, le plus souvent, des fours rotatifs. Le plus simple est le four Fisher (voir page 181) Le chauffage est externe.

Le four Retort comporte deux cylindres concentriques, tournant en sens inverse. La houille desséchée par passage dans le premier cylindre est distillée dans le second.

Le four Coppée est un four fixe. L'avance du charbon est obtenue par un agitateur à palettes transporteuses.

On utilise également le four Salerni (voir page 181).

Les gaz et matières volatiles issus des fours traversent



des condenseurs dans lesquels se condense le goudron. Les gaz sont ensuite désessenciés après épuration.

On retire ainsi d'une tonne de houille :

70 kg de goudron ;  
75 kg de gaz ;  
750 kg de coke (semi-coke).

**Goudron.** — Le goudron recueilli est un liquide fluide de couleur rougeâtre contenant 30 à 50 p. 100 de phénols et des carbures cycliques et acycliques, saturés et non saturés, à l'exception des carbures aromatiques.

Le goudron contient de l'eau et doit être déshydraté avant traitement. Cette déshydratation se fait par chauffage au-dessus de 100°. Les distillats contiennent des carbures légers que l'on recueille.

Le goudron déshydraté est distillé avec injection de vapeur surchauffée et donne une fraction d'huile légère accompagnée de phénols (20 p. 100) ; au delà de 300, il donne une fraction d'huile lourde, paraffineuse et phénolique. Il reste alors 30 p. 100 du goudron sous forme de brai.

Les phénols sont éliminables par des lavages alcalins et les huiles peuvent être raffinées comme les huiles de cracking, c'est-à-dire contenant une notable proportion de carbures non saturés. La fraction lourde doit être déparaffinée.

Les phénols peuvent être cracqués ou hydrogénés sous pression, en vue de les transformer en carburants.

**Gaz.** — Le gaz obtenu est riche — 7 000 millithermies — sa densité est proche de l'unité par suite de sa teneur élevée en carbures éthyléniques et saturés. Il contient en outre de l'hydrogène sulfuré, des mercaptans, des pyridines et du CO<sub>2</sub>. Il contient jusqu'à 6 p. 100 de substances

volatiles éliminables par adsorption au charbon actif ou au gel de silice, ou par lavage à l'huile. Sa haute teneur en  $H_2S$  et mercaptans nécessite son épuration avant désessenciement. Cette épuration se fait par passage des gaz sur de l'oxyde de fer.

On récupère, par ce procédé, des carbures saturés et oléfiniques de  $C_4$  en  $C_{10}$ .

Le gaz est utilisé le plus souvent au chauffage des fours. Il convient admirablement comme gaz d'éclairage.

*Semi-coke.* — Le semi-coke contient encore quelques centièmes de substances volatiles. Il est analogue à l'an-thracite au point de vue de la composition et peut le remplacer. On utilise le semi-coke aggloméré, pulvérisé ou tel qu'il sort des fours à distiller. Afin de ne pas abandonner en pure perte la chaleur sensible de ce corps à la sortie des fours, on peut le diriger directement sur la grille d'un foyer. Il existe même des appareils où le four à distiller à basse température et le foyer sont accolés (four Hereng).

*Produits obtenus.* — On retire ainsi de la houille par distillation à basse température une certaine quantité d'huiles analogues aux huiles de pétrole et convenant aux mêmes emplois. D'une tonne de houille, on retire :

Essence aviation .....	3 kg
Essence auto .....	5 —
White spirit .....	5 —
Gas oil .....	5 —
Huile de graissage .....	4 —
Paraffine .....	1 —
Brai .....	23 —

On peut augmenter la quantité de ces produits en cracquant ou hydrogénant les 21 kg de phénols retirés par la même opération.

**Hydrogénation de la houille.** — La transformation de la houille par cracking hydrogénant est incontestablement l'opération donnant les meilleurs rendements en huile.

La houille doit être mélangée à de l'huile provenant d'une opération précédente avant d'être hydrogénée à 450° sous 200 kg. On obtient par tonne de houille :

150 kg d'huile légère ;  
 350 kg d'huile lourde ;  
 300 kg de résidu ;  
 200 kg de gaz.

### LIGNITE

Le lignite est un charbon de formation plus récente, extrêmement répandu dans le monde.

Le lignite est distillé à haute et basse température. La quantité de goudron recueillie est, comme dans le cas de la houille, plus considérable à basse température.

	600°	900°
Huile carburant.....	20-25 kg	8-12 kg
Huile lourde.....	50-70 —	15-20 —
Carbures solides.....	2 —	4 —
Brai.....	8 —	20 —

La distillation à basse température du lignite se fait dans les mêmes appareils que celle de la houille. Les goudrons obtenus sont analogues à ceux de houille. Leur traitement est identique.



Dans le procédé Houdry-Prudhomme, les matières volatiles sont, à la sortie des cornues, désulfurées sur de l'oxyde de fer, puis hydrogénées au moyen d'H obtenu par décomposition de gaz de gazogène. On recueille ainsi :

40 litres d'essence ;  
45 litres de fuel oil

par tonne de lignite traitée.

Le lignite peut être également hydrogéné sous pression et constitue la matière première des carburants synthétiques allemands dont la production a été, à la fin de l'année, de 200 000 tonnes (carburant pour moteurs à explosion et à combustion).

A l'usine de Mersebourg-Leuna, le lignite desséché et pulvérisé est conduit dans un malaxeur où il est mélangé à du goudron de houille ou à un résidu obtenu précédemment. L'opération faite à chaud est continuée jusqu'à obtention d'une pâte homogène que l'on introduit par des pompes dans des fours à hydrogéner (cellules Haber pour  $NH_3$  synthétique). Elle traverse le four en trente minutes et, pendant ce temps, est soumise à une pression de 200 kg d'H et à une température de 425-450°; 80 p. 100 du lignite est liquéfié. Le produit obtenu est soumis à une distillation et les fractions sont traitées comme les fractions de la distillation du pétrole brut.

## TOURBE

La tourbe est un combustible récent, également très répandu. Son extraction est aisée, car, à l'inverse des autres combustibles minéraux, il n'est pas enfoui dans le sol. Malheureusement, la tourbe contient des quantités considérables d'eau que l'on doit éliminer avant tout traitement. Son emploi industriel est très réduit. Lorsque la question du séchage sera résolue économiquement, la distillation à basse température pourra être entreprise.

Une tonne de tourbe à 20 p. 100 d'humidité donne, par

semi-distillation, de 30 à 100 kg de goudron suivant sa nature, et par distillation du goudron, on obtient :

- 6 à 20 p. 100 d'huile légère ;
- 10 à 30 p. 100 d'huile lourde ;
- 14 à 40 p. 100 de gas oil ;
- 3 à 10 p. 100 d'huile paraffineuse ;
- 6 à 20 p. 100 de brai.

### *TRAITEMENT DE GAZ*

A l'inverse des fabrications précédentes, la fabrication des combustibles liquides, à partir de certains gaz, est une opération synthétique. On arrive à des corps relativement complexes à partir de corps beaucoup plus simples.

**Oxyde de carbone.** — L'oxyde de carbone CO est produit facilement et économiquement dans les gazogènes par combustion modérée de toutes sortes de combustibles.

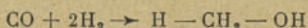
Fisher, par hydrogénéation du CO à 400° sous 150 kg, sur un catalyseur constitué par de la limaille de fer imbibée de solution de potasse, a obtenu le synthol, substance très complexe, composée d'alcools, de cétones, d'aldéhydes et d'acides jusqu'en C<sub>6</sub>. Par hydrogénéation, le synthol est transformé en synthine.

Par hydrogénéation à la pression ordinaire sur de l'oxyde de cobalt, à une température comprise entre 200° et 300°, le CO se transforme en gazol, mélange de carbures saturés et oléfiniques (Fisher-Trosph). Le rendement est de 100 g d'huiles légères par mètre cube de CO. La durée de contact est assez considérable.

La synthine et le gazol n'ont pas, jusqu'ici, donné naissance à une exploitation industrielle.

A partir du CO, il est possible d'obtenir, par hydrogé-

nation de l'alcool méthylique, le méthanol<sup>1</sup>  $\text{H}-\text{CH}_2-\text{OH}$ .



Deux procédés permettent cette transformation, ce sont ceux de Patart et d'Audibert. L'hydrogénation se fait à une température de 400-420°, sous une pression de 150-250 kg, en présence d'un catalyseur, oxyde de zinc dans le procédé Patart, oxyde de chrome ou d'urane dans le procédé Audibert.

Ces deux procédés sont utilisés industriellement pour fabriquer le méthanol (mines de Béthune-Kuhlmann).

**Éthylène.** — Les gaz issus de la distillation de la houille à haute température contiennent 1,5 à 2 p. 100 d'éthylène que l'on sépare et transforme en alcool éthylique.

Aux mines de Béthune, la séparation du benzol faite par refroidissement entraîne la liquéfaction de l'éthylène. Revaporisé, ce gaz est absorbé à 50°, sous 15 kg, par de l'acide sulfurique à 96 p. 100. L'acide sulfovinique formé est soumis à une injection de vapeur et s'hydrate en alcool éthylique (voir page 15).

A 2 p. 100 d'éthylène, 1 m<sup>3</sup> de gaz donne 40 gr d'alcool, ce qui correspond à une quinzaine de kg par tonne de houille distillée<sup>2</sup>.

## *TRAITEMENT DE VÉGÉTAUX*

### PLANTES OLÉAGINEUSES

Les fruits des plantes oléagineuses, après macération, cuisson et pression, donnent des huiles composées d'éthers glycériques des acides gras oléfiniques.

---

1. Les alcools peuvent, comme les carbures, être utilisés comme combustibles dans les moteurs à explosion. Les alcools méthylique et éthylique apporteront peut-être bientôt un appoint intéressant.

2. Un traitement identique peut être suivi pour fabriquer de l'alcool isopropylique à partir du propylène des gaz de cracking.



Les huiles végétales peuvent être utilisées telles quelles dans les moteurs à combustion ou dans les foyers équipés pour brûler le mazout.

Le pouvoir calorifique de 9 400 millithermies est inférieur à celui des gazoilets mazout qu'elles remplacent. Par suite de leur point éclair élevé, 250°, la sécurité contre l'incendie des réserves est considérable.

Leur emploi dans les diésels nécessite leur réchauffement à 50° avant injection par suite de leur viscosité élevée.

Des essais ont été effectués avec les huiles d'arachide, de coton, de palme, de lin.

**Hydrogénation des huiles.** — Les huiles végétales peuvent être traitées en vue de leur transformation en produits saturés (procédé Mailhe). Les vapeurs d'huile soumises à l'action de catalyseurs déshydratants et déshydrogénants (mélange d'alumine et de cuivre), sous une température de 550-600°, se transforment en eau, acroléine, oxyde de carbone, gaz carbonique, hydrogène et carbures saturés et non saturés, liquides ou gazeux. La quantité de carbures non saturés est voisine de 50 p. 100.

Les produits liquides sont séparés, par distillation, en deux fractions, l'une à 150°, l'autre entre 150 et 220°. Après lavage à la soude, les deux fractions, hydrogénées par passage sur du nickel à 180°, donnent des carbures aromatiques et naphthéniques accompagnés de carbures paraffiniques.

Le traitement de 1 tonne d'huile peut fournir de 300 à 340 kg de produits légers et de 300 à 330 m<sup>3</sup> de gaz à pouvoir calorifique voisin de 12 500 millithermies.

Le cracking catalytique sur chlorure de zinc des huiles végétales conduit à l'obtention d'un pétrole brut artificiel tout à fait analogue à un pétrole américain.

Ces procédés ne sont pas industrialisés.

## Bois

Le bois, substance composée de cellulose, de lignine, de sucres et de cires, donne, lors de sa distillation, des produits gazeux, — méthane, gaz carbonique, oxyde de carbone, — des produits liquides, — eau, acide acétique, méthanol, acétone, furfurool et phénols, — et un résidu solide, le charbon de bois.

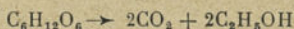
Les produits liquides constituent le goudron de bois et l'acide pyroligneux ; ce dernier contient l'acide acétique, l'acétone et le méthanol. L'acide acétique est fixé par un lait de chaux et le méthanol est séparé par distillation ; il est ensuite rectifié et parfois purifié au chlorure de calcium.

On obtient ainsi 5 kg de méthanol par tonne de bois traitée.

Le bois est également une source d'alcool éthylique que nous étudierons plus loin.

VÉGÉTAUX SOURCE D'ALCOOL ÉTHYLIQUE  
(Voir note 1 p. 196.)

De nombreux végétaux peuvent être utilisés comme matière première dans la fabrication de l'alcool. Certains fruits, raisin, pomme, donnent des jus directement transformables par la fermentation alcoolique. Le jus contenant des sucres (glucose, fructose) se transforme suivant



D'autres plantes (betterave) donnent par extraction des jus sucrés (saccharose) qui, intervertis par la levure de bière en glucose et lévulose, sont transformables en alcool.

Certaines parties de plantes, par l'amidon, la dextrine,

la cellulose qu'elles contiennent, sont des sources d'alcool. Les plus usitées pour de telles transformations sont les grains de céréales, les pommes de terre, le bois, etc. Ces corps devront être surchauffés avant fermentation.

La saccharification est précédée d'un concassage et d'une cuisson en autoclave. Celle-ci se fait à 60°, en présence de 10 à 15 p. 100 d'amylase de malt (orge germée) ou de 2 à 5 p. 100 d'un acide minéral (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Le jus saccharifié est interverti, puis transformé en alcool.

Les jus alcooliques provenant des trois sources précédentes sont alors distillés dans des appareils continus.

La distillation ne peut conduire à un alcool anhydre par suite de l'allure anormale de la courbe d'ébullition alcool-eau. Il y a un minimum à 78°,1 pour 95,6 p. 100 d'alcool.

Pour être à 100 p. 100, l'alcool doit être déshydraté par absorption de l'eau au moyen de déshydratants liquides ou solides, ou en utilisant certaines propriétés des vapeurs d'eau et d'alcool. (La diffusion à travers une paroi poreuse est plus aisée pour les vapeurs d'eau que pour celles lourdes d'alcool.)

L'alcool utilisable dans l'industrie est surtout fabriqué par le dernier procédé. Les rendements moyens sont de 160 litres d'alcool par tonne de bois traitée et de 300 litres par tonne de grains.

*Alcool.* — L'alcool à usage industriel est dégrevé des droits considérables qu'il supporte lors des usages de bouche ou de parfumerie. Il est dénaturé au méthylène régie pour éviter toute fraude.

Sa combustion, lorsqu'elle est incomplète, donne de l'acide acétique susceptible d'attaquer les parois des moteurs.

Son pouvoir calorifique de 6 000 millithermies en fait un combustible bien moins riche que l'essence, mais ses propriétés antidétonantes permettent son emploi dans des moteurs spéciaux à compression 10 et à rendement voisin de 0,5 dans lesquels l'essence est prohibée.



Son emploi dans un moteur ordinaire nécessite des transformations considérables du carburateur. Il faut prévoir un dispositif de mise en marche à l'essence.

Employé en mélange avec l'essence ou le benzol, ces propriétés sont très atténuées.

Le mélange 50 p. 100 benzol, 50 p. 100 essence, de pouvoir calorifique de 7 400 millithermies, peut être employé tel quel dans les moteurs en ne nécessitant que de légers réglages du carburateur. Les départs avec ce combustible sont un peu délicats. Les appréciables qualités antidétonantes de ce coupage permettent son emploi dans des moteurs spéciaux à haute compression.

L'alcool à 96° et l'essence ne sont pas miscibles et il y a intérêt à utiliser pour de tels coupages de l'alcool déshydraté ou un tiers solvant, benzol ou alcool butylique. Notons que l'alcool méthylique du dénaturant joue, en partie, le rôle de stabilisateur.

Les mélanges alcool-essence peuvent être utilisés comme l'essence, mais le pouvoir calorifique est plus faible.

Les diverses sources de produits de remplacement n'ont pas toutes la même valeur. La distillation des schistes, celle à basse température de la houille et l'hydrogénation des combustibles inférieurs, lignites, minerais extrêmement répandus, sont des sources sûres de substituts de pétrole.

Tous les pays ne sont pas suffisamment bien partagés au point de vue richesse minière, ils peuvent alors avoir recours aux végétaux qui leur donneront, à profusion, alcools et carbures.

Cette source sera du reste la plus durable. Les végétaux existeront pendant bien plus longtemps que les combustibles minéraux. Mais à cette époque, la science aura peut-être dispensé l'homme de s'adresser à la chaleur pour créer de l'énergie.

---

## CONCLUSION

---

Montrer le rôle de premier plan que joue le pétrole dans la société moderne, tel a été l'objet de cette étude. Nous avons été, pour cela, amenés à envisager la composition du naphte, ses propriétés, le sol qui le renferme, les procédés pour l'en extraire, pour le distiller et le raffiner — c'est-à-dire pour obtenir les dérivés, essence, kérosène, huiles, etc... utilisables par l'industrie. Nous avons montré par quelles méthodes il est possible de retirer du moindre résidu tout ce qu'il est susceptible de donner.

C'est que, par suite des progrès croissants des industries automobiles et aéronautiques, du rôle de plus en plus grand du moteur thermique, les besoins en pétrole sont de plus en plus considérables. Aussi les gisements connus sont exploités, les terrains sont prospectés, d'énormes sociétés centralisent l'extraction et le commerce de l'huile précieuse. Les États eux-mêmes ont mis la question pétrolifère au premier rang de leurs préoccupations. Ils cherchent à s'assurer la possession de gisements extra-nationaux — comme la France et l'Angleterre en Mésopotamie — ou à drainer chez eux la production d'autres pays — comme les États-Unis. Certains cherchent à établir le monopole à leur profit (Espagne). Bref il y a une politique du pétrole.

Ce n'est pas encore assez. Le pétrole, qui a non seulement ses usages propres — alimentation des moteurs thermiques et graissage —, mais qui tend à remplacer la houille dans bien des cas — chaufferies à mazout, — est peu abondant. On envisage l'épuisement des gisements à trop brève échéance. C'est pour cela que l'on cherche avidement des carburants « de remplacement ». Les plus sérieux obtenus jusqu'ici l'ont été à partir de la houille et du lignite. Cependant ces substituts restent encore confinés au laboratoire, ou, bien que mis sur le marché comme en Allemagne, sont d'un prix de revient élevé et ne constituent pas encore le carburant rêvé.

Ainsi le pétrole que les plus anciennes civilisations ont connu et utilisé, qui a été oublié ou méconnu pendant des siècles, est comme le symbole de notre activité moderne. Il a fait faire, en tant que lampant, de sérieux progrès à l'éclairage. La découverte du moteur à explosion lui a donné la place qu'il a aujourd'hui. On peut envisager, au point de vue combustible, trois âges dans l'humanité ; celui du bois, révolu, celui de la houille et celui tout actuel du pétrole.

---



## BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

---

- ANDROUIN. — *Le travail des métaux aux machines-outils*. Baillière, Paris.
- AUBERT. — *Les combustibles liquides*. Masson, Paris, 1924.
- BELL. — *American petroleum refining*. New-York, 1929.
- BOUTRY. — *Les méthodes géophysiques de prospection appliquées à la recherche du pétrole*. Paris, 1930.
- DE CHAMBRIER. — *Exploitation du pétrole par puits et galeries*. Dunod, Paris, 1920.
- CHAMPSAUR. — *Théorie du graissage*. Delagrave, Paris, 1930.
- COLOMER et LORDIER. — *Les combustibles industriels*. Dunod, Paris, 1920.
- COURAU et BESSON. — *Distillation des combustibles à basse température*. Doin et C<sup>ie</sup>, Paris, 1928.
- ENGLER und HOFER. — *Das Erdöl*. Leipzig (en réimpression).
- FILHOL. — *Législation mondiale du pétrole*. Paris, 1929.
- GURURTSCH. — *Les bases scientifiques du traitement des huiles minérales*. Paris, Liège, 1925.
- HARDEL. — *Recherche et exploitation du pétrole*. Dunod, Paris, 1922.
- HOLDE. — *Analyse des huiles*. Paris-Liège, 1929.
- JOLIBOIS. — *Les méthodes actuelles de la chimie*. Collection Armand Colin, 2<sup>e</sup> éd., Paris, 1928.
- LE GAVRIAN. — *Les chaussées modernes*. Baillière, Paris.
- LEUBA. — *Introduction à la géologie*. Collection A. Colin, 3<sup>e</sup> éd., Paris, 1930.
- MAILHE. — *Les combustibles liquides artificiels*. Masson, Paris, 1929.
- MARCOTTE. — *Moteurs à explosion*, Collection Armand Colin, 2<sup>e</sup> éd., Paris, 1930.
- MARCOTTE. — *Moteurs à combustion*. Collection Armand Colin, Paris, 1926.
- PETIT. — *Guide du sondeur au pétrole*. Béranger, Paris, 1921.
- POINCARÉ (L.). — *Carburation et carburateurs*. Masson, Paris, 1925.

- SIR BOVERTON REDWOOD. — *Treatise of Petroleum*. London, 1926.
- REY. — *Propriétés physiques des vapeurs de pétrole et les lois de leur écoulement*. Dunod, Paris, 1925.
- RICHARD. — *L'alcool d'industrie*. Masson et C<sup>ie</sup>, Paris, 1927.
- RICHTER, ANSCHUTZ et SCHRÖTER. — *Traité de chimie organique*. 2 vol., Béranger, Paris, 1919.
- SCHLUMBERGER. — *Étude sur la prospection électrique*. Paris 1920.
- THOMSEN. — *Pratique du graissage*. Dunod, Paris, 1925.
- THOMPSON BEGBY. — *Oil fuel exploration and development*. London, 1925.
- VLES. — *Physico-chimie des pétroles*. Paris, 1927.
- WOOG. — *Contribution à l'étude du graissage*. Delagrave, Paris, 1926.

#### Périodiques.

- Annales de l'Office national des combustibles liquides.*  
*Le courrier des pétroles.*  
*Les matières grasses.*  
*Le Pétrole.*  
*La Revue pétrolière.*  
*Annales des mines.*  
*Chaleur et Industrie.*  
*Chimie et Industrie.*  
*Le Génie civil.*  
*Science et Industrie.*  
*La technique moderne.*  
*Petroleum.*  
*The Marketer.*  
*The Oil and gas journal.*  
*The Oil weekly.*  
*The Refiner.*  
*Bulletins of Petroleum Technologists.*
-

## TABLE DES MATIÈRES

---

PRÉFACE.....	1
INTRODUCTION.....	3
CHAPITRE PREMIER	
Composition du pétrole. Ses propriétés .....	7
CHAPITRE II	
Géologie du pétrole .....	34
CHAPITRE III	
Exploitation .....	42
CHAPITRE IV	
Emmagasinage et transport.....	66
CHAPITRE V	
Raffinage .....	72
CHAPITRE VI	
Analyse et contrôle .....	102
CHAPITRE VII	
Emplois .....	130



## CHAPITRE VIII

Production .....	150
------------------	-----

## CHAPITRE IX

Commerce et réglementation .....	169
----------------------------------	-----

## CHAPITRE X

Dangers présentés par l'industrie pétrolifère .....	172
---	-----

## CHAPITRE XI

Ozocérite. Bitume .....	176
-------------------------	-----

## CHAPITRE XII

Produits de remplacement .....	177
--------------------------------	-----

CONCLUSION .....	201
------------------	-----

Bibliographie sommaire .....	203
------------------------------	-----



COLLECTION  
 ARMAND COLIN

Directeur : Paul MONTEL, Professeur à la Sorbonne

Chaque volume in-16, broché ou relié.

“Vulgariser sans abaisser”

- N° 1. **Rayonnement** (Principes scientifiques de l'Éclairage) (2<sup>e</sup> édition), par A. BLANC, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (35 figures).
- N° 2. **La Construction du Vaisseau de guerre**, par E. JAMMY, Ingénieur en chef aux Forges et Chantiers de la Méditerranée (183 figures, 4 planches hors texte).  
 (Ouvrage couronné par la Ligue maritime et coloniale française.)
- N° 3. **Cinématique et Mécanismes**, par R. BRICARD, Professeur à l'École Centrale et au Conservatoire des Arts et Métiers (79 figures).
- N° 4. **L'École classique française** : Les doctrines et les hommes (1660-1715) (2<sup>e</sup> édition), par A. BAILLY, Professeur au Lycée Pasteur.
- N° 5. **Éléments d'Agriculture coloniale : Plantes à huile**, par Yves HENRY, Inspecteur général de l'Agriculture aux Colonies (35 figures).
- N° 6. **Télégraphie et Téléphonie sans fil** (7<sup>e</sup> édition), par C. GUTTON, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy (107 figures).
- N° 7. **Théorie cinétique des Gaz** (2<sup>e</sup> édition), par E. BLOCH, Professeur à la Sorbonne (7 figures).
- N° 8. **Traité pratique de Géométrie descriptive**, par J. GEFROY, Ingénieur des Arts et Manufactures (248 figures).
- N° 9 - 10. **Statique et Dynamique** (Tomes I et II), par H. BÉGHIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille (226 figures).
- N° 11. **Éléments d'Électricité** (3<sup>e</sup> édition), par Ch. FABRY, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne (70 figures).
- N° 12. **La Fonte** (Élaboration et Travail), par le Colonel J. ROUELLE (29 figures).
- N° 13. **L'Hérédité**, par Et. RABAUD, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris (34 figures).
- N° 14. **Principes de l'Analyse chimique**, par V. AUGER, Professeur de Chimie analytique à la Sorbonne (11 fig.).

- N° 15. **Les Pyrénées** (2<sup>e</sup> édition), par M. SORRE, Maître de Conférences à la Faculté des Lettres de Bordeaux (3 cartes).
- N° 16. **Chimie et Fabrication des Explosifs**, par P. VEROLA, Ingénieur en chef des Poudres (9 figures).
- N° 17. **La Révolution française**, par A. MATHIEZ, Chargé du cours d'histoire de la Révolution française à l'Université de Paris. Tome I : *La Chute de la Royauté* (3<sup>e</sup> édition).
- N° 18. **Les grands Marchés des Matières premières** (5<sup>e</sup> édition), par F. MAURETTE, Chef de la Division Scientifique du Bureau international du Travail (S. D. N.) à Genève (8 cartes et 3 graphiques).
- N° 19. **L'Industrie du Fer en France**, par J. LEVAINVILLE, Docteur de l'Université de Bordeaux (4 cartes).  
(Ouvrage couronné par la Société de Géographie de Paris.)
- N° 20. **L'Acier** (Élaboration et Travail) (2<sup>e</sup> édition), par le Colonel J. ROUELLE (45 figures).
- N° 21. **Le Droit ouvrier** (Tableau de la Législation française actuelle) (2<sup>e</sup> édition), par G. SCELLE, Professeur à la Faculté de Droit de Dijon.
- N° 22. **Les Maladies dites Vénéériennes**, par le D<sup>r</sup> P. RAVAUT, Membre de l'Académie de Médecine, Médecin de l'Hôpital Saint-Louis (22 figures).  
(Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences, Prix Béliot.)
- N° 23. **La Houille blanche** (2<sup>e</sup> édition), par H. CAVAILLÈS, Professeur au Lycée de Bordeaux (8 cartes et 4 figures).
- N° 24. **Propriétés générales des Sols en Agriculture**, par G. ANDRÉ, Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut Agronomique.
- N° 25. **Vue générale de l'Histoire d'Afrique** (2<sup>e</sup> édition), par G. HARDY, Directeur de l'École Coloniale.
- N° 26. **Les Instruments d'Optique** (2<sup>e</sup> édition), par H. PARISELLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille (82 figures).
- N° 27. **Le Naturalisme français**, par P. MARTINO, Doyen de la Faculté des Lettres d'Alger.
- N° 28. **Théorie du Navire** (Tome I), par M. LE BESNERAIS, Ingénieur en chef du Génie Maritime (61 figures).
- N°s 29 - 30. **Éléments de Paléontologie** (Tomes I et II), par L. JOLEAUD, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris (93 figures).
- N° 31. **Le Ballon, l'Avion, la Route aérienne**, par M. LARROUY, Ingénieur de l'École Supérieure d'Aéronautique (25 figures).
- N° 32. **La Société Féodale** (2<sup>e</sup> édition), par J. CALMETTE, Professeur à l'Université de Toulouse.



- N<sup>o</sup> 33. **Les Bois coloniaux**, par H. LECOMTE, Membre de l'Institut, Professeur au Muséum (28 figures).
- N<sup>o</sup> 34. **Probabilités, Erreurs** (3<sup>e</sup> édition), par Émile BOREL, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne, et R. DELTHEIL, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse (10 figures).
- N<sup>o</sup> 35. **Physique du Globe** (2<sup>e</sup> édition), par Ch. MAURAIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris (21 figures).
- N<sup>o</sup> 36. **L'Atmosphère et la prévision du Temps**, par J. ROUCH, Professeur à l'École Navale (36 figures).
- N<sup>o</sup> 37. **Les Méthodes actuelles de la Chimie** (2<sup>e</sup> édition), par P. JOLIBOIS, Professeur à l'École Supérieure des Mines (45 figures).
- N<sup>o</sup> 38. **Les Coopératives de consommation en France**, par Bernard LAVERGNE, Professeur à la Faculté de Droit de Nancy.
- N<sup>o</sup> 39. **La Grande Guerre** (1914-1918), par le général THEVENET, ancien Gouverneur de Belfort (15 cartes).
- N<sup>o</sup> 40. **Mines et Torpilles**, par Henri STROH, Ingénieur en chef de la Marine (40 figures).
- N<sup>os</sup> 41, 42, 43. **Chimie minérale** (3 volumes) (2<sup>e</sup> édition), par H. COPAUX, Professeur à l'École de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris, et H. PÉROT, Sous-Chef de travaux pratiques à l'École de Physique et de Chimie.
- N<sup>o</sup> 44. **Éléments de Géométrie analytique**, par A. TRESSE, Docteur ès sciences, Inspecteur général (91 figures).
- N<sup>o</sup> 45. **Le Félibrige**, par Émile RIPERT, Professeur à la Faculté des Lettres de l'Université d'Aix-Marseille.
- N<sup>o</sup> 46. **Le Blocus et la Guerre sous-marine**, par A. LAURENS, Capitaine de Vaisseau, Chef de la Section historique de l'État-Major de la Marine.
- N<sup>os</sup> 47 - 48. **Alternateurs et Moteurs synchrones** (Tomes I et II), par E. ROTH, Ingénieur en chef de la Société Alsacienne de Constructions électriques de Belfort (167 figures).  
(Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences, Prix Hébert.)
- N<sup>o</sup> 49. **Éléments d'Agriculture coloniale : Plantes à fibres**, par Yves HENRY, Inspecteur général de l'Agriculture aux Colonies (55 figures).
- N<sup>o</sup> 50. **Astronomie générale**, par Luc PICART, Directeur de l'Observatoire de Bordeaux (42 figures).

- N° 51. **L'Après-guerre et la Politique commerciale**, par C. GIGNOUX, Rédacteur en Chef de la *Journée Industrielle*, ancien chargé de Cours à la Faculté de Droit de Nancy. (Ouvrage couronné par la Société de Géographie Commerciale.)
- N° 52. **La Révolution française**, par A. MATHIEZ, Charge de cours d'histoire de la Révolution française à l'Université de Paris. Tome II : *La Gironde et la Montagne* (3<sup>e</sup> édition).
- N° 53. **L'Angleterre au XIX<sup>e</sup> siècle, son évolution politique**, par Léon CAHEN, Professeur au Lycée Condorcet.
- N° 54. **Realistique extérieure**, par J. OTTENHEIMER, Ingénieur principal d'Artillerie navale (48 figures).
- N° 55. **Piles et Accumulateurs électriques** (2<sup>e</sup> édition), par L. JUMAU, Ingénieur (76 figures).
- N° 56. **Les Alpes françaises** (2<sup>e</sup> édition), par R. BLANCHARD, Professeur à l'Université de Grenoble (15 cartes).
- N° 57. **Les Courants alternatifs** (2<sup>e</sup> édition), par Pierre SÈVE, Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille (127 fig.). (Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences, Prix Hébert.)
- N° 58. **Rome et les Lettres latines**, par A. DUPOUY, Professeur au Lycée Michelet.
- N° 59. **Théorie du Navire** (Tome II), par M. LE BESNERAIS, Ingénieur en chef du Génie Maritime (33 figures).
- N° 60. **Calculs numériques et graphiques** (2<sup>e</sup> édition), par Émile GAU, Directeur de l'Enseignement en Tunisie (33 figures).
- N° 61. **Les Industries de la Soie en France**, par P. CLERGET, Directeur de l'École de Commerce de Lyon (10 graphiques, 15 tableaux statistiques).
- N° 62. **Les Industries de fixation de l'Azote**, par Marcel GUICHARD, Professeur à la Sorbonne (21 figures).
- N° 63. **Le Saint-Siège, l'Église catholique et la Politique mondiale** (2<sup>e</sup> édit.), par Maurice PERNOT, Agrégé de l'Université, ancien Membre de l'École française de Rome.
- N° 64. **La France économique et sociale au XVIII<sup>e</sup> siècle**, par Henri SÉE, Professeur honoraire à l'Université de Rennes.
- N° 65. **Les Submersibles**, par G. RABEAU, Ingénieur du Génie Maritime, et A. LAURENS, Chef de la Section historique de l'État-Major de la Marine (44 figures).
- N° 66. **Les Doctrines économiques en France depuis 1870** 2<sup>e</sup> édition, par G. PIROU, Professeur à la Faculté de Droit de Paris.
- N° 67. **Introduction à la Géologie** (2<sup>e</sup> édit.), par J. LEUBA, Docteur ès sciences (60 figures).
- N° 68. **La Renaissance des Lettres en France, de Louis XII à Henri IV**, par J. PLATTARD, Professeur à la Faculté de Lettres de Paris.



- N° 69. **Parnasse et Symbolisme** (2<sup>e</sup> édition), par P. MARTINO, Doyen de la Faculté des Lettres d'Alger.
- N° 70. **Les Moteurs à explosion**, par E. MARCOTTE, Ingénieur (I. C. F.), Professeur à l'École spéciale des Travaux publics (61 figures).  
(Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences, Prix Trémond.)
- N° 71. **Le Magnétisme**, par P. WEISS, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, et G. FOEX, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Strasbourg (69 figures).
- N°s 72-73. **Éléments de Calcul différentiel et de Calcul intégral** (Tomes I et II) (2<sup>e</sup> édition), par Th. LECONTE, Directeur de l'Enseignement de la Seine, et R. DELTHEIL, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.
- N° 74. **Peuples et Nations des Balkans**, par Jacques ANCEL, Professeur au Collège Chaptal et à l'École des Hautes Études Commerciales (3 cartes).  
(Médaille d'or de la Société de Géographie.)
- N° 75. **Transport de l'Électricité**, par René COUFFON, Ingénieur des Arts et Manufactures (45 figures).
- N° 76. **Les Alpes, Géographie générale**, par Emm. DE MARTONNÉ, Professeur à la Sorbonne (24 cartes ou graphiques).
- N° 77. **Les Moteurs à combustion**, par E. MARCOTTE, Ingénieur (I. C. F.), Professeur à l'École Spéciale des Travaux publics (37 figures).  
(Couronné par l'Académie des Sciences, Prix Trémond.)
- N° 78. **La Transformation de l'énergie électrique : I. Transformateurs**, par R. CARTON, Ingénieur E.M.I., et P. DUMARTIN, Ingénieur A. et M.I.E.G. (39 figures).
- N° 79. **Les Origines du Capitalisme moderne** (2<sup>e</sup> édition), par Henri SÉE, Professeur honoraire à l'Université de Rennes.  
(Recommandé par le Comité France-Amérique.)
- N° 80. **Balistique intérieure**, par J. OTTENHEIMER, Ingénieur principal d'Artillerie navale (37 figures).
- N° 81. **La Pensée française au XVIII<sup>e</sup> siècle** (2<sup>e</sup> édition), par Daniel MORNÉ, Professeur à la Sorbonne.
- N° 82. **Mesures Électriques**, par Jean GRANIER, Ingénieur, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier (85 figures).
- N° 83. **La Littérature italienne**, par Th. LAIGNEL, Professeur agrégée d'italien au Lycée de jeunes filles de Lyon.
- N° 84. **L'Organisation scientifique du Travail**, par Georges BRICARD, Ingénieur en chef du Génie Maritime (34 fig.).



- N<sup>os</sup> 85-86. **Les Courants de la Pensée philosophique française** (Tomes I et II), par A. CRESSON, Professeur de Philosophie au Lycée Condorcet.
- N<sup>o</sup> 87. **Principes de l'Électrochimie** par J. PONSINET, Ingénieur des Manufactures de l'État (35 figures).
- N<sup>o</sup> 88. **Syndicats et Coopératives agricoles**, par Michel AUGÉ-LARIBÉ, Secrétaire général de la Confédération nationale des Associations agricoles.
- N<sup>os</sup> 89-90. **La Tuberculose**, par le D<sup>r</sup> Édouard RIST, Médecin de l'Hôpital Laënnec et du Dispensaire Léon Bourgeois. Un volume double (25 figures et 6 graphiques).
- N<sup>o</sup> 91. **Les Expériences monétaires contemporaines** (2<sup>e</sup> édit.), par George-Edgar BONNET, Directeur général adjoint de la C<sup>ie</sup> du Canal de Suez.  
(Couronné par l'Académie des Sciences morales et politiques :  
Recommandé par le Comité France-Amérique).
- N<sup>o</sup> 92. **Histoire de la Langue Allemande**, par E. TONNELAT, Professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Strasbourg (1 carte hors texte).
- N<sup>o</sup> 93. **La Révolution française**, par A. MATHIEZ, Tome III : *La Terreur* (2<sup>e</sup> édition).
- N<sup>o</sup> 94. **La Cinématographie**, par Lucien BULL, Sous-Directeur de l'Institut Marey (36 figures).
- N<sup>o</sup> 95. **La Littérature française contemporaine : Poésie, Roman, Idées** (3<sup>e</sup> édition), par André BILLY.
- N<sup>o</sup> 96. **La Vie de la Cellule végétale**. Tome I, par R. COMBES, Maître de Conférences à la Sorbonne (16 figures).  
(Couronné par l'Académie des Sciences, Prix de Parville.)
- N<sup>o</sup> 97. **Psychologie expérimentale**, par Henri PIÉRON, Professeur au Collège de France et à l'Institut de Psychologie (11 figures ou graphiques).
- N<sup>o</sup> 98. **La Civilisation athénienne**, par P. CLOCHÉ, Professeur à la Faculté des Lettres de Besançon (15 fig., 1 carte).
- N<sup>o</sup> 99. **Appareils et Méthodes de Mesures mécaniques**, par le Lieutenant-Colonel J. RAIBAUD, Chef des Travaux pratiques de Mécanique à l'École Polytechnique (87 fig.).
- N<sup>o</sup> 100. **L'École romantique française : les doctrines et les hommes**, par Jean GIRAUD.  
(Couronné par l'Académie française, Prix Montyon.)
- N<sup>o</sup> 101. **Éléments de Thermodynamique**, par Ch. FABRY, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne (39 figures).
- N<sup>o</sup> 102. **Introduction à la Psychologie collective**, par le D<sup>r</sup> Charles BLONDEL, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Lettres de Strasbourg.

- N° 103. **Nomographie**, par M. FRÉCHET, Directeur de l'Institut de Mathématiques à la Faculté des Sciences de Strasbourg, et M. ROULLET, Ingénieur, Professeur à l'École nationale technique de Strasbourg (79 figures).
- N° 104. **L'Ancien Régime et la Révolution russes**, par Boris NOLDE, ancien Professeur à la Faculté de Droit de Pétrograd.  
(*Couronné par l'Académie des Sciences morales et politiques.*)
- N° 105. **La Monarchie d'Ancien Régime en France, de Henri IV à Louis XIV**, par Georges PAGÈS, Professeur d'Histoire moderne à la Faculté des Lettres de Paris.
- N° 106. **Le Théâtre français contemporain**, par Edmond SÉE.
- N° 107. **Hygiène de l'Européen aux Colonies**, par le D<sup>r</sup> Charles JOYEUX, Prof. agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.
- N° 108. **Grammaire descriptive de l'Anglais parlé**, par Joseph DELCOURT, Docteur ès lettres, Professeur au Lycée Pasteur.
- N° 109. **La Vie de la Cellule végétale. Tome II**, par R. COMBES, Maître de Conférences à la Sorbonne (13 figures).  
(*Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences, Prix de Parville.*)
- N° 110. **La Formation de l'État français et l'Unité française, des Origines au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle**, par G. DUPONT-FERRIER, Professeur à l'École Nationale des Chartes.  
(*Couronné par l'Académie des Sciences morales et politiques.*)
- N° 111. **Nos Grands Problèmes Coloniaux**, par Georges HARDY, Directeur de l'École Coloniale.  
(*Couronné par l'Académie des Sciences morales et politiques.*)
- N° 112. **Le Calcul vectoriel**, par Raoul BRICARD, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers et à l'École Centrale des Arts et Manufactures.
- N° 113. **Ondes et Électrons**, par Pierre BRICOUT, Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique.
- N° 114. **La Littérature en Russie**, par Jules LEGRAS, Professeur à l'Université de Dijon.  
(*Couronné par l'Académie française, Prix Bordin.*)
- N° 115. **Essences naturelles et Parfums**, par Raymond DELANGE, Chef des Services scientifiques des Fabriques de Laire.
- N° 116. **La Formation de l'Unité Italienne**, par Georges BOURGIN, Ancien membre de l'École française de Rome, Archiviste aux Archives nationales.  
(*Ouvrage couronné par l'Académie française.*)



- N° 117. **La Justice pénale d'aujourd'hui**, par H. DONNEDIEU DE VABRES, Professeur à la Faculté de Droit de Paris. (*Recommandé par le Comité du Livre français France-Amérique.*)
- N° 118. **Les grands courants de la Pensée antique**, par A. RIVAUD, Prof. à la Sorbonne, Corresp. de l'Institut.
- N° 119. **Les Systèmes philosophiques**, par A. CRESSON, Professeur de Philosophie au Lycée Condorcet.
- N° 120. **Les Rayons X**, par Jean THIBAUD, Docteur ès sciences, Ingénieur E. S. E., Directeur adjoint au Laboratoire de Physique des Rayons X (Ecole des Hautes-Études).
- N° 121. **Les Quanta**, par Georges DÉJARDIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (*34 figures*).
- N° 122. **Les Anciennes Civilisations de l'Inde**, par Gaston COURTILLIER, Chargé de Conférences à la Faculté des Lettres de Strasbourg.
- N° 123. **Couleurs et Pigments des Êtres vivants**, par le Docteur Jean VERNE, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.
- N° 124. **Pétroles naturel et artificiels**, par J.-J. CHAR-TROU, Ingénieur à la Compagnie française des Pétroles.
- N° 125. **La Téléphonie**, par Robert DREYFUS, Ingénieur des Postes et Télégraphes.
- N° 126. **L'Islam**, par Henri MASSÉ, Professeur à l'École des Langues orientales.
- N° 127. **Principes de Psychologie appliquée**, par le D<sup>r</sup> Henri WALLON, Directeur à l'École des Hautes-Études, Professeur à l'Institut de Psychologie de l'Université de Paris.
- N° 128. **La Belgique contemporaine (1780-1930)**, par Franz VAN KALKEN, Professeur à l'Université de Bruxelles.
- N° 130. **La Thérapeutique moderne**, par le D<sup>r</sup> G. FLORENCE, Prof. agrégé à la Faculté de Médecine de Lyon.
- N°s 132-133. **La Musique contemporaine en France**, par René DUMESNIL (*Tomes I et II*).
- N° 134. **Le Sommeil**, par le Docteur J. LHERMITTE, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.
- N° 135. **Constitution et Gouvernement de la France**, par L. TROTABAS, Prof. à la Faculté de Droit de Nancy.
- N° 136. **Les Problèmes de la Vie mystique**, par A. BASTIDE, Professeur au Lycée de Valence.
- N° 138. **Théorie mathématique des Assurances**, par H. GALBRUN, Actuaire de la Banque de Paris et des Pays-Bas.





INSTITUT INDUSTRIEL  
DU NORD DE LA FRANCE

=====  
17. RUE JEANNE D'ARC  
À LILLE